

Veijo Isojunno

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

8.5.2014

Tekijä Otsikko	Veijo Isojunno Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu
Sivumäärä Aika	41 sivua 13.5.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Johtava asiantuntija, Benjam Lytz, Granlund Oy Lehtori Osmo Massinen
<p>Tässä insinöörityössä perehdyttiin aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun. Työn lähtökohtana oli järjestelmän suunnittelu ja toteutus suureen julkiseen rakennukseen, kuten toimistoon, sairaalaan tai kauppakeskukseen.</p> <p>Työn tavoitteena oli antaa perustiedot sähkösuunnittelijalle aurinkosähköjärjestelmän suunnittelusta. Työssä käydään läpi aurinkosähkön taustalla oleva teoria, auringon säteilymäärät ja suunnittelun perusteet paneelien mitoituksesta sijoitukseen. Työ sisältää esimerkkisuunnitelman, joka valaisee teoriaa käytännössä.</p> <p>Työn esimerkkisuunnitelmana oli aurinkosähköjärjestelmä, joka suunniteltiin Espooseen Mäkkylän palvelukotiin. Aurinkosähköjärjestelmän hankintaa koordinoitiin Granlund Oy:stä, jonka pohjalta tämä opinnäytetyö ja sen suunnitteluesimerkki valmistui. Työn suunnitelma ei kuitenkaan vastaa toteutunutta aurinkosähköjärjestelmää, koska lopullisen suunnitelman teki kohteeseen valittu paneelitoimittaja.</p> <p>Lisäksi työssä käydään läpi vaatimukset mikro- ja pientuotannon liittämisestä yleiseen sähkön jakeluverkkoon.</p>	
Avainsanat	aurinkopaneeli, aurinkosähkö, sähkösuunnittelu

Author Title	Veijo Isojunno Photovoltaic System Design
Number of Pages Date	41 pages 13 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Benjam Lytz, Leading electrical expert, Granlund Oy Osmo Massinen, Senior Lecture
<p>This study focuses on photovoltaic system design, particularly on systems built on to large public buildings, such as offices, hospitals or shopping centers.</p> <p>The objective of this work was to cover the basics of photovoltaic system design with the designer in mind. Theory of solar electricity, amounts of solar radiation and design criteria, such as the sizing and placement of panels, are discussed.</p> <p>An example solar electricity plan is included, where these principles are applied into practice. The photovoltaic plan example was designed for a care home in Espoo Mäkkylä. Photovoltaic system was coordinated by Granlund Oy. This study and the example plan are based on that coordination. The example plan does not match the actual solar power system, because the final plan was designed by the panel supplier.</p> <p>The work also includes requirements for joining micro-and small-scale electricity production to a public distribution network.</p>	
Keywords	photovoltaic, solar panel, electrical engineering

Sisällys
Tiivistelmä
Abstract

1	Johdanto	1
2	Aurinko energianlähteenä	1
	2.1.1 Auringon säteilyenergia Maapallolla	2
	2.1.2 Auringon säteilyenergia Suomessa	3
3	Aurinkopaneelin toimintaperiaate	5
	3.1 Valosähköinen ilmiö	5
	3.2 Aurinkokennot	5
	3.2.1 Yksikiteinen kenno	8
	3.2.2 Monikiteinen kenno	9
	3.2.3 Amorfinen kenno	9
	3.3 Aurinkopaneelit	10
	3.4 Aurinkopaneelin hyötysuhteen laskeminen	13
	3.5 Aurinkopaneelin energiantuoton arviointi	13
4	Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu	14
	4.1 Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus	14
	4.2 Aurinkopaneelien suuntaus ja sijoitus	16
	4.3 Vaihtosuuntaajat	22
	4.4 Aurinkopaneelien kaapelointi	25
	4.5 Aurinkopaneelit julkisivumateriaalina	26
5	Aurinkosähköjärjestelmän esimerkkisuunnitelma	27
	5.1 Aurinkopaneelien valinta	27
	5.2 Vaihtosuuntaajien valinta	28
	5.3 Aurinkopaneelien sijoitus	29
	5.4 Aurinkopaneelien suojaukset	30
	5.5 Johdonsuojien mitoitus	32
	5.6 Suunnitelman kustannukset ja tuotonarviointi	33
6	Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen sähkönjakeluverkkoon	35
	6.1 Jakeluverkkoon liittymisen yleiset vaatimukset	35
	6.2 Tuotannon mittaus	37
	6.3 Alle 50 kV aurinkosähköjärjestelmät	38
	6.4 Yli 50 kV aurinkosähköjärjestelmät	39
7	Yhteenveto	41
	Lähteet	42

1 Johdanto

Tämä insinööritoimisto on tehty Granlund Oy:n toimeksiannosta. Työssä tavoitteena on antaa sähkösuunnittelijalle perustiedot verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien teknisistä ratkaisuista ja toteutuksista.

Monissa yrityksissä on huomattu, että kestävään kehitykseen panostamalla säästetään sekä energiaa että ympäristöä, minkä takia ympäristöteema on nostettu merkittäväksi osaksi konsernien strategiaa. Ekologisuus on todettu myös hyväksi tavaksi erottua kilpailijoista markkinoilla. Maapallon uudesta sähköntuotannosta onkin jo yli 40 prosenttia peräisin uusiutuvista lähteistä, kuten tuuli-, aurinko- ja vesivoimasta. Samalla tuuli- ja aurinkosähkön hinnat laskevat rajusti, ja yhä useampi uusiutuvan energian hanke tulee kannattavaksi ilman takuuhintoja tai muita tukiaisia.

Aurinkoenergia on erinomainen vaihtoehto yritysten imagon kohottamiseen ja ekologisen energian tuottamiseen. Yhä useampiin toimistoihin ja liikeyrityksiin halutaan omaa energiantuotantoa. Hyvä esimerkki toimistorakennuksen omasta sähköntuotannosta on Vaisalan pääkonttori Vantaalla, jonne on vuonna 2010 rakennettu yli 100 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmä.

2 Aurinko energianlähteenä

Aurinko on maapallon merkittävin energianlähde, joka kasveissa tapahtuvan yhteyttämisen kautta tuottaa lähes kaiken eliökunnassa kulutettavan energian. Ydinvoimaa sekä kuun aiheuttamaa vuorovesienergiaa lukuun ottamatta kaikki ihmiskunnan saama energia on peräisin auringosta. Aurinko säteilee ympäristöönsä jatkuvalla syötöllä valtaavan määrän energiaa sen ytimessä tapahtuvan fuusioreaktion avulla. [1.]

Fuusioissa energiantuotanto perustuu kahden kevyen atomiytimen yhdistymisreaktioon. Auringossa kaksi vetyatomin ydintä, kaksi protonia ja kaksi neutronia, yhtyy heliumatomin ytimeksi vapauttaen samalla energiaa. Auringossa muuttuu joka sekunti noin 600 miljoonaa tonnia vetyä 596 miljoonaksi tonniksi heliumia. Tästä prosessista jäävä erotus 4 tonnia muuttuu joka sekunti suhteellisuusteoriasta tutun kaavan 1 mukaisesti energiaksi. Yhden heliumkilon muodostaminen vedystä vapauttaa

180 miljoonaa kW/h energiaa. Näin ollen vapautuva energia antaa auringolle $3,6 \cdot 10^{26}$ W:n kokonaistehon. Energia vapautuu auringosta sähkömagneettisena säteilyä, josta osa päättyy lopulta Maahan. [2.]

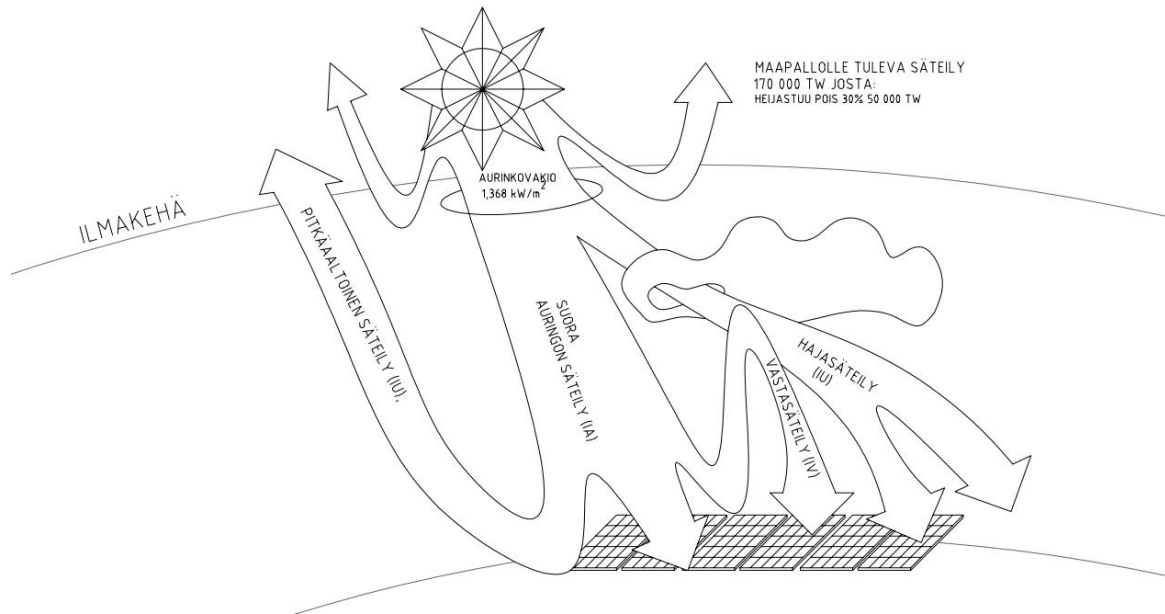
$$P = \frac{mc^2}{t} = \frac{4 \cdot 10^9 \left(3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \right)^2}{1s} = 3,6 \cdot 10^{26} W \quad (1)$$

2.1.1 Auringon säteilyenergia Maapallolla

Auringon säteily määrä maapallolla lasketaan aurinkovakion avulla. Aurinkovakio kertoo sen energiamäärän, joka tulee yhdessä sekunnissa ilmakehän rajalla olevalle yhden neliömetrin pinta-alalle. Tämä energiamäärä on 1,368 kW +/- 3,5 % riippuen maapallon etäisyydestä aurinkoon. Ilmakehän heijastavasta ja absorboivasta vaikutuksesta johtuen suurin säteily määrä maan pinnalla on korkeintaan 800 - 1 000 W/m², eli noin 60 % aurinkovakiosta.

Ilmakehän läpi maan pinnalle tuleva säteily jaetaan kuvan 1 (ks. seur. s.) mukaisesti kolmeen eri tyyppiin: suoraan auringonsäteilyyn (I_A), hajasäteilyyn (I_D) ja vastasäteilyyn (I_V). Suora auringonsäteily tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tulevaa säteilyä. Hajasäteily on ilmakehän pilvien ja molekyyliden heijastamaa säteilyä. Vastasäteilyä aiheuttaa ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. Näiden kolmen säteilyjen summa on maan pinnalle tuleva kokonaissäteilyenergia. Kokonaissäteilyenergiasta vähennetään maanpinnalta takaisin avaruuteen heijastuva pitkäaaltoinen säteily (I_U), jotta saadaan selville maanpinnalle jäävän kokonaissäteilyn teho (I) (kaava 2). Aurinkopaneelien kannalta merkittävin säteilyn muoto on suora auringonsäteily. Päivän kirkkaus vaikuttaa merkittävästi säteilyn laatuun, sillä pilvisenä päivänä maan pinnalle tuleva säteily voi olla 90 % haja- ja vastasäteilyä. [3, s. 11 - 12.]

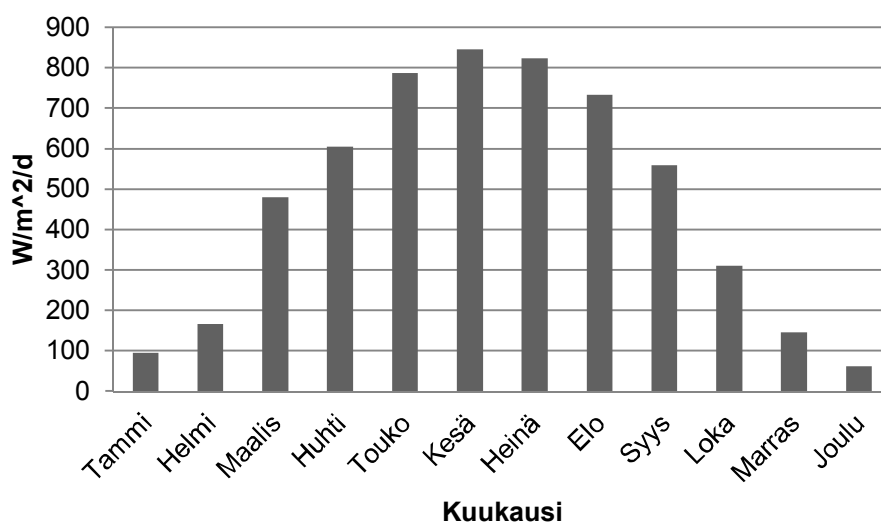
$$I = (I_A) + (I_D) + (I_V) - (I_U) \quad (2)$$



Kuva 1. Kaavio auringon säteilystä maapallolle

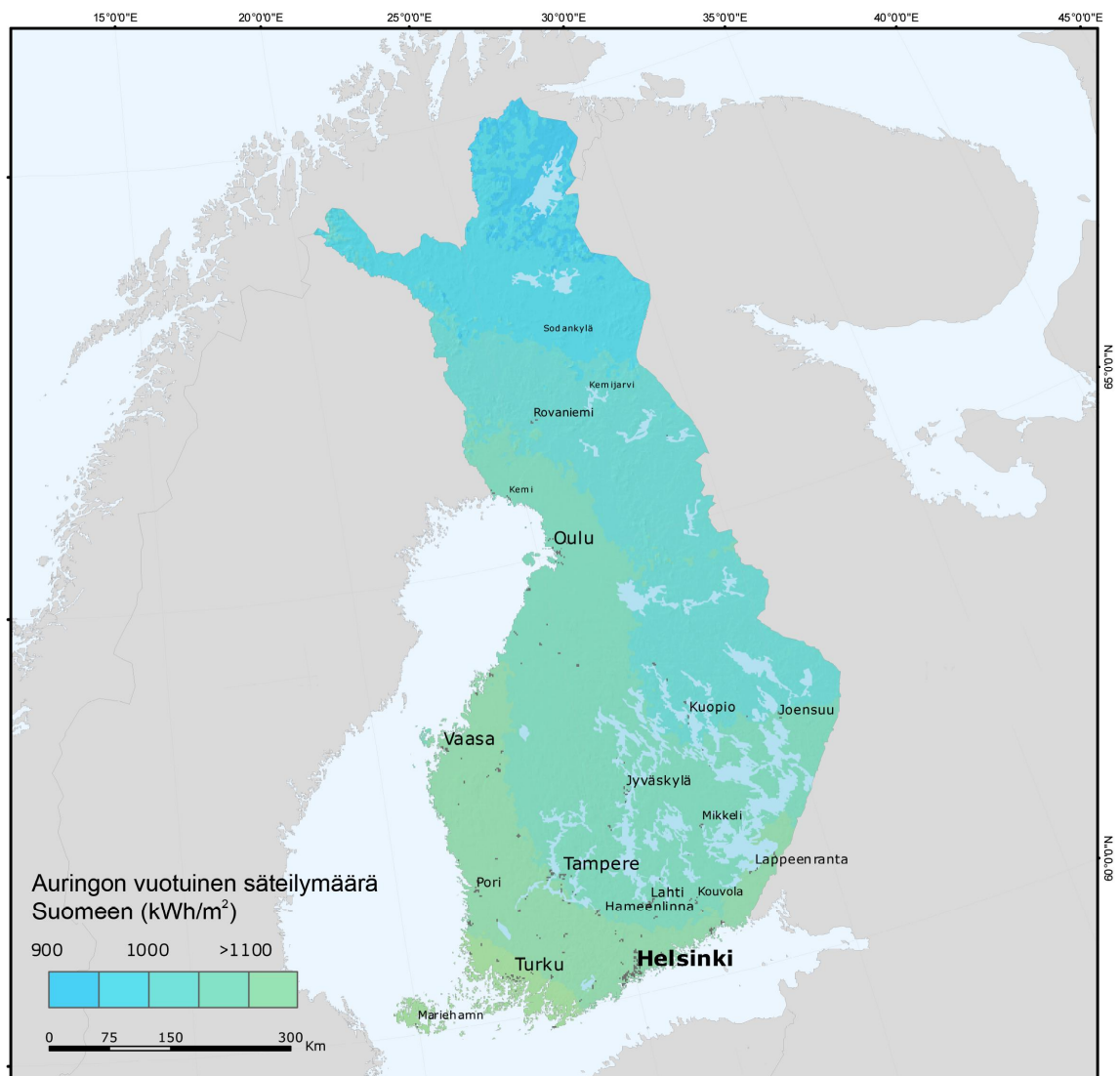
2.1.2 Auringon säteilyenergia Suomessa

Suomeen saapuvan auringonsäteilyn määrään vaikuttaa merkittävästi Suomen maantieteellinen sijainti. Voimakkainta säteily on touko–heinäkuun välisenä aikana, jolloin Helsingissä säteilystä saatava energian määrä kuukaudessa on kohtisuoralle pinnalle keskimäärin 160 - 170 kWh/m². Loka- ja helmikuun välisenä aikana säteilyenergian määrä jää alle 30 kWh/m². [4.] Kuva 2 havainnollistaa auringon päivittäisiä säteilymääriä Helsingissä vuonna 2013:



Kuva 2. Auringon päivittäinen säteily keskimäärin Helsingissä vuonna 2013 (W/m²/d) [5.]

Eteläisimmässä Suomessa lounaisrannikolla auringonsäteilyenergia on vuositasona noin 1 000 kWh/m², joka on lähes sama kuin Keski-Euroopassa. Helsingissä vuotuinen säteilyenergia on noin 950 kWh/m². Pohjoiseen mentäessä säteilyn taso kuitenkin heikkenee. Esimerkiksi Keski-Suomen säteilyenergian taso on vuodessa noin 900 kWh/m². [3, s. 13] Kuva 3 havainnollistaa auringon vuotuista säteilyenergian määrää Suomessa:



Kuva 3. Vuotuinen auringon säteilyenergian määrä Euroopassa kWh/m² [6.]

3 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

3.1 Valosähköinen ilmiö

Kaikkien puolijohdetekniikkaan perustuvien aurinkokennojen sähköntuotto perustuu fysikaaliseen tapahtumaan, jota kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. Valosähköisessä ilmiössä on kyse sähkömagneettisen säteilyn ja sähkövarauksen välisestä vuorovaikutuksesta.

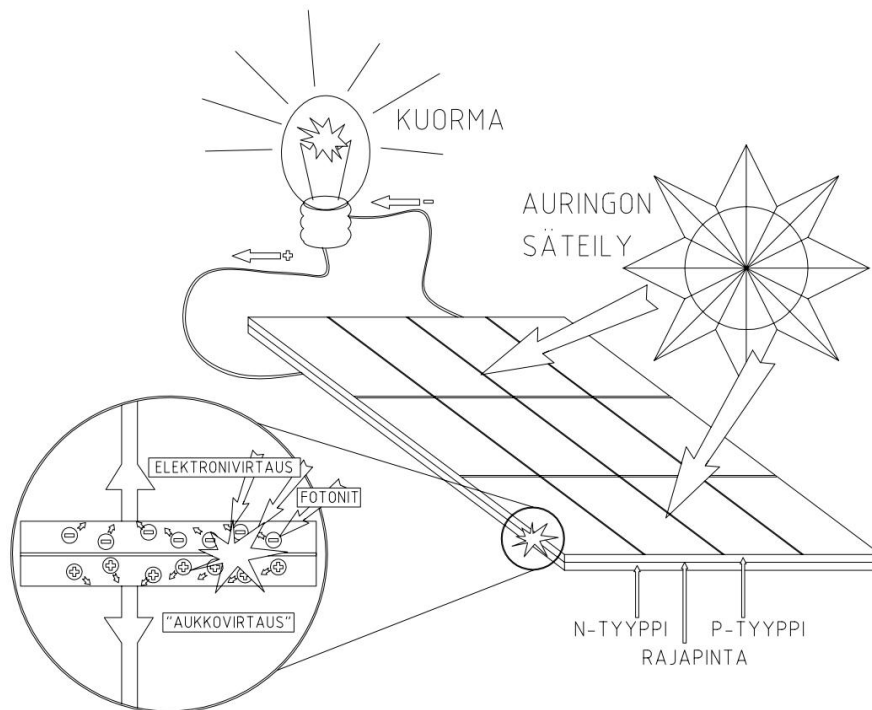
Valosähköisessä ilmiössä puolijohteen elektronit saavat niin paljon energiaa sähkömagneettisesta säteilystä, että ne irtautuvat atomiytimen vetovoimasta. Fotoni absorboituu atomiin irrottaen tästä elektrodin, jolloin fotoni katoaa ja antaa energiansa elektrodille. Toisin sanoen auringonsäteilyn fotonien osuessa puolijohteeseen alkaa puolijohteen elektrodit värähdellä säteilyn antaessa niille energiaa. Kun elektrodit saavat riittävän suuren energian, elektrodit niin sanotusti hyppäävät puolijohteen valenssivyöltä johtavuusvyölle. Valenssivyölle jää tyhjä paikka, jota kutsutaan aukoksi. Aukko on sähkövaraukseltaan positiivinen, ja se kykenee kuljettamaan sähkövirtaa. Valosähköisen ilmiön havaitsi ensimmäisen kerran Henrich Hertz vuonna 1887. [7.]

3.2 Aurinkokennot

Aurinkopaneelin peruskomponentti on puolijohdemateriaaleista valmistettu aurinkokenno. Puolijohdemateriaalien ominaisuuksiin kuuluu eristävyys normaaliolosuhteissa, kun taas energian osuessa puolijohteisiin ne alkavat johtaa sähköä. Energialla tarkoitetaan tässä tapauksessa auringon säteilyä, jonka avulla valosähköinen ilmiö tapahtuu. Kennoissa yleisesti käytetty puolijohdemateriaali on pii, koska se on suhteellisen edullista ja sitä esiintyy runsaasti maankuoressa. [3, s. 21.]

Aurinkokennon rakenne on kaksiosainen sisältäen kaksi ominaisuuksiltaan erityyppistä puolijohdekerrosta: boorilla seostetun p-tyyppin ja fosforilla seostetun n-tyyppin kerrokset. Kun p- ja n-tyyppin puolijohteet viedään yhteen syntyy pn-liitos. Tällöin liitoksen n-puolelle muodostuu positiivinen varaus ja p-puolelle negatiivinen varaus. Liitoksen välille jäävälle rajapinnalle muodostuu valosähköisen ilmiön avulla sähkökenttä.

Sähkökenttä estää varauksia kulkemasta liitoksen yli n-puolelta p-puolelle, jolloin aurinkokennon ylä- ja alapinnan välille muodostuu jännite-ero. Kuvassa 4 havainnollistetaan aurinkokennon rakennetta ja toimintaa:



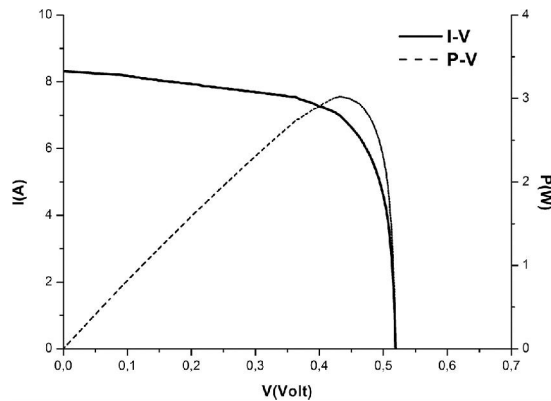
Kuva 4. Aurinkokennon toiminta [8.]

Yksittäinen kenno tuottaa auringon valossa noin 0.5 V:n tasajännitteen. Kytkemällä useita kennoja sarjaan saadaan haluttu jännite aikaiseksi. Kennosta saatu teho riippuu vallitsevasta säteilytehosta sekä kennon pinta-alasta. Aurinkokennon jännite muuttuu suhteessa säteilytehoon, mutta virta pysyy lähes vakiona säteilytehosta riippumatta. [3, s. 121.]

Aurinkokennon toimintaa voidaan tarkkailla kennon ominaiskäyrän eli I-U-käyrän avulla (kuva 5, ks. seur. s.). Ominaiskäyrä kertoo kennon jännitteen ja virran suhteet. Käyrästä nähdään, että kennon ollessa kytkemättä virran arvo on 0 A, jolloin kenno toimii tyhjäkäyntijännitteellä (V_{oc}). Tyhjäkäyntijännite on kennon korkein saavuttama jännite tietyssä valointensiteetissä. [9 ; 3, s. 121.]

Aurinkokennon n- ja p-puolen yhteen kytkeminen aiheuttaa kennoon oikosulun, jolloin muodostuu teoreettisesti sen hetkisessä valointensiteetissä ja lämpötilassa suurin kennossa kulkeva virta. Tätä virtaa kutsutaan oikosulkuvirraksi (I_{sc}).

Virran suuruus on suoraan verrannollinen valon intensiteettiin. Virran tai jännitteen ollessa maksimipisteessä kennon teho P on nolla. I-U-käyrästä nähdään paras virtajännitearvopiste, jota kutsutaan maksimitehopisteeksi. (MPP). Ominaisuuksiltaan erilaisilla kennoilla on myös erilaiset I-U-käyrät. [3, s. 121.]

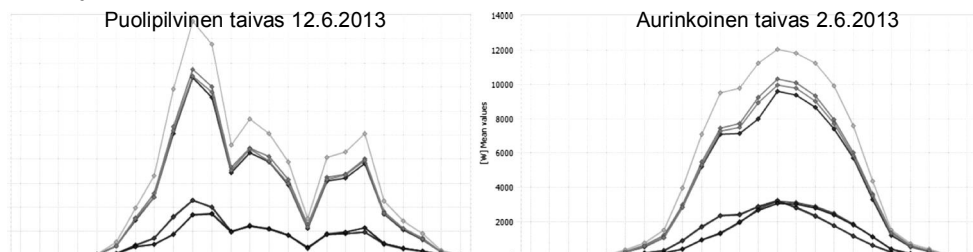


Kuva 5. Esimerkki aurinkokennon ominaiskäyrästä

Koska aurinkokennojen ja paneelien suorituskyky riippuu merkittävästi vallitsevista sääolosuhteista, kennojen testaamista varten on määritelty tietyt standardiolosuhteet:

- Säteilymiheys $G = 1\,000\text{ W/m}^2$
- Kennon lämpötila $T = 25\text{ °C}$
- Ilmamassa $AM = 1,5$

Ilmamassalla (*Air Mass*) on suure, jolla kuvataan pilvettömän ilmakehän vaikutusta auringon säteilyn intensiteettiin. Ilmamassa vaikuttaa säteilyn aallonpituuteen. Käytännössä aurinkopaneelit eivät toimi standardiolosuhteissa, sillä ympäristön lämpötilan ja säteilytehotiheyden vaihtelevuus lyhyessäkin ajassa voi olla huomattavaa (kuva 6). Aurinkopaneelien vertailun vuoksi on kuitenkin olennaista, että standardiolosuhteet on määritelty. [2.]



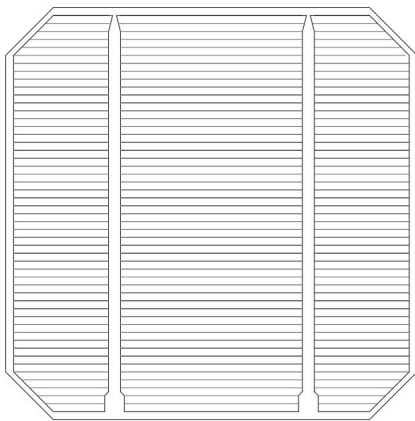
Kuva 6. Säätilan vaikutus aurinkopaneelien sähkön tuottoon (Vaisalan pääkonttori)

Kennot valmistetaan tavanomaisesti kiteisestä, monikiteisestä tai amorfisesta piistä. Piikentojen teoreettisen hyötysuhteen maksimi on noin 30 %. Keskittävää aurinkokennoteknologiaa käyttäen on päästy jopa 44 % hyötysuhteeseen [10.]. Aurinkokennojen hyötysuhdetta arvioidessa vertailua voi tehdä esimerkiksi auton ottomoottoriin, jonka hyötysuhde jää tyypillisesti 10 - 25 % [11.].

Aurinkokennon koko on tyypistä riippumatta tavallisesti 10 cm x 10 cm ja paksuus 0,1-0,4 mm. Monikiteisestä ja amorfisesta piistä valmistettujen kennojen valmistuskustannukset ovat pienemmät kuin yksikiteisestä piistä valmistettu kenno. Nykyään monikiteinen piikkenno on markkinoiden suosituin kennotyyppi. [3, s. 124.]

3.2.1 Yksikiteinen kenno

Yksikiteinen piikide valmistetaan tankomuotoon siten, että kiderakenteen atomit menevät tiettyyn ennalta määrättyyn järjestykseen. Valmistusprosessi on hidasta vaatien huolellista työtä, joka nostaa kustannuksia. Yksikiteisillä kennoilla päästään laboratorioolosuhteissa jopa yli 25 %:n hyötysuhteisiin. Hyötysuhde jää kuitenkin vielä alle 20 %:n markkinoilla olevilla kennoilla. Yksikiteisen piikennon tunnistaa pyöristetyistä reunoista ja mustasta väristä (kuva 7). [3, s. 124.]



Kuva 7. Yksikiteinen piikennon tunnistaa mustasta väristä ja pyöristetyistä reunoista

3.2.2 Monikiteinen kenno

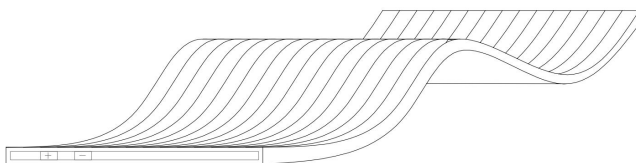
Monikiteisessä kenossa kennontekniset ominaisuudet ovat lähes samat kuin yksikidekenossa. Monikiteinen kenno on kuitenkin yksikiteistä kennoa edullisempi valmistaa, sillä se ei vaadi yhtä huolellista valmistusprosessia. Monikidekennot valmistetaan valamalla, jolloin niihin muodostuu monikidemuoto. Atomien paikat ovat tällöin sattumanvaraisempia kuin yksikiteisessä kenossa, jolloin hyötysuhde jää pienemmäksi. Markkinoilla olevien monikidekennojen hyötysuhde on noin 15 %. Laboratorio-olosuhteissa päästään jopa 20 %:n hyötysuhteeseen. Monikiteinen kenno on muodoltaan suorakulmainen ja väriltään sinertävä (kuva 8). [3, s. 124.]



Kuva 8. Monikiteisen piikennon tunnistaa neliskulmaisesta muodosta ja sinertävästä väristä

3.2.3 Amorfinen kenno

Amorfista piitä käytetään ohutkalvoisten paneelien valmistukseen. Amorfisessa kiderakenteessa vallitsee atomien täydellinen epäjärjestys. Amorfiset kennot ovat ohuempia kuin kiderakenteiset kennot, joten piitä tarvitaan vähemmän. Toisaalta kalvopaneelit vaativat enemmän asennuspinta-alaa kuin saman tehoiset kiderakenteiset paneelit, sillä niiden hyötysuhde on noin 10 %. Amorfisesta piistä valmistettujen paneelien hyöty on se, että ne voidaan valmistaa erivärisinä ja muotoisina (kuva 9). Ominaisuutta voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi rakennusten julkisivumateriaaleissa. [3, s. 125.]



Kuva 9. Amorfisesta piistä voidaan valmistaa erimuotoisia paneeleita

3.3 Aurinkopaneelit

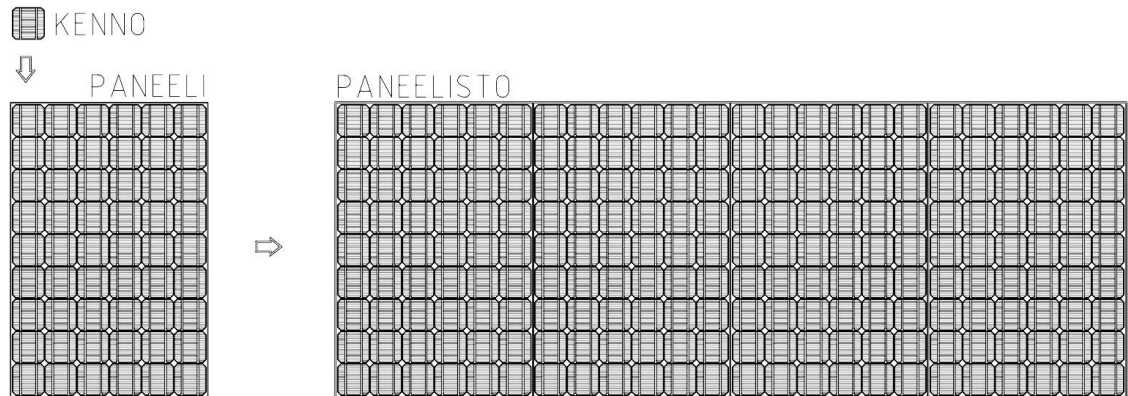
Aurinkopaneeli on kokonaisuus, joka koostuu sarjaan kytketyistä kennoista, alumiinikehyksestä, kennoja suojaavasta lasilevystä ja kapselointifolioista (kuva 10). Aurinkopaneeli on kennojen tapaan tasavirtalähde, mutta sen hyötysuhde jää 1 - 2 % kennoja pienemmäksi kytkentöjen aiheuttamien häviöiden takia. [3, s. 125.]



Kuva 10. Aurinkopaneelin rakenne [12.]

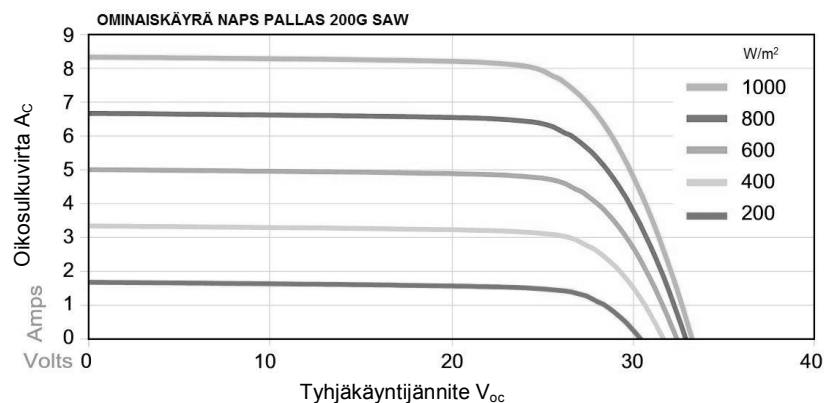
Yksittäisen paneelin nimellisteho vaihtelee sovelluskohtaisesti, mutta kiinteistöasennuksissa nimellisteho on yleensä $150 W_p$ - $260 W_p$. Nimellisteholla tarkoitetaan paneelin huipputehoa (*Watt-peak*), jonka paneeli saavuttaa standardoiduissa laboratorioolosuhteissa.

Useista yksittäisistä paneeleista muodostuu paneelisto, johon kuuluu kaikki tiettyyn järjestelmään kuuluvat aurinkopaneelit. Kytkemällä paneeleita sarjaan ja rinnan toteutetaan sovelluskohtaisesti teholtaan ja jännitetasoltaan haluttu paneelisto. Aurinkopaneeleiden parhaita ominaisuuksia onkin modulaarisuus. Samaa aurinkopaneelia käyttämällä voidaan rakentaa pieni tuotantolaitos tai usean megawatin voimala yleiseen jakeluverkkoon [3, s. 125.] (kuva 11, ks. seur. s.). Esimerkiksi suurimmat paneelit Vaisalan pääkonttorin katolla ovat huipputeholtaan $210 W_p$, mutta niistä on koottu yli $100 kW_p$ aurinkosähkövoimala. [13.]



Kuva 11. Aurinkokennosta aurinkopaneelistoksi [3, s. 125.]

Aurinkokennon tavoin myös aurinkopaneeleita tutkitaan paneelin ominaiskäyrän avulla. Käyrä ilmoittaa millä virran ja jännitteen arvoilla paneeli toimii standardiolosuhteissa. Aurinkokennon I-U-käyrän tavoin paneeliin virta-jännitekäyrältä nähdään tyhjäkäyntijännite V_{oc} , oikosulkuvirta A_{sc} , sekä maksimitehopiste W_p . [3, s. 127.]



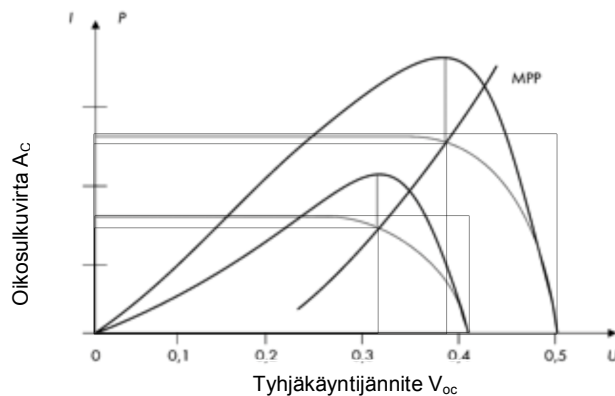
Kuva 12. Ominaiskäyrä Naps Pallas 200G SAW aurinkopaneelistista [14.]

Kuvasta 12 nähtiin että $1\,000\text{ W/m}^2$ säteilyintensiteetissä paneelin tyhjäkäyntijännite on 33 V_{oc} ja oikosulkuvirta 8.2 A_{sc} . Kuvan 12 ominaiskäyrästä nähdään myös paneelin maksimitehopiste. Maksimitehopisteessä (MPP) saavutetaan suurin teho P_{max} kulloinkin vallitsevalla säteilyintensiteetillä. Nykyaikaisissa vaihtosuuntaajissa on MPP seuranta vakiona, jolloin aurinkopaneeleista saadaan mahdollisimman suuri energian tuotto ja hyöty irti.

Aurinkopaneelin maksimisähköteho voidaan todentaa oikosulkuvirran, tyhjäkäyntijännitteen ja täytekertoimen f avulla. (kaavaa 3). [9.]

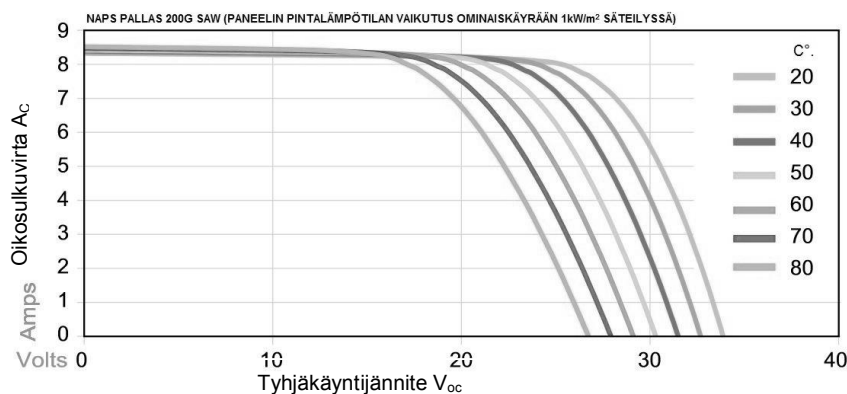
$$f = \frac{P_{\max}}{V_{oc}A_{sc}} \leftrightarrow P_{\max} = fV_{oc}A_{sc} \quad (3)$$

Täytekerroin kuvastaa aurinkopaneelin ominaiskäyrällä kahden suorakulmion pinta-alojen suhdetta. (kuva 13). Täytekertoimen arvo on aina alle yksi. Kiteiselle piillä arvo on tavallisesti 0,7 - 0,75 ja amorfiselle piillä 0,5 - 0,6.



Kuva 13. Maksimitehopisteen havainnollistaminen

Aurinkopaneelistä saatavaan tehoon ja hyötysuhteeseen vaikuttaa säteilyintensiteetin ohella merkittävästi myös paneelipinnan lämpötila. Puolijohdemateriaalien ominaisuuksien takia paneelin jännite laskee 0.5 % yhtä astetta kohden, kun paneelin lämpötila ylittää 25 C° (kuva 14). Vastaavasti alhaisimmissa lämpötiloissa jännite kasvaa. Paneeleista pois heijastuva säteily laskee lämpötilan ohella myös hyötysuhdetta, joten paneelin pintamateriaali tehdään mahdollisimman heijastamattomista materiaaleista.



Kuva 14. Lämpötilan vaikutus paneelin ominaiskäyrään [14.]

3.4 Aurinkopaneelin hyötysuhteen laskeminen

Aurinkopaneelin hyötysuhde η määritellään saatavan sähkötehon P_{nim} ja aurinkopaneelin pinnalle osuvan kokonaissäteilytehon GA suhteena. (kaava 4) [9.]

$$\eta = \frac{P_{nim}}{GA} \quad \begin{array}{l} \eta = \text{hyötysuhde} \\ P_{nim} = \text{paneeli maksimiteho} \\ G = \text{säteilyteho} \\ A = \text{paneelin pinta-ala} \end{array} \quad (4)$$

Esimerkiksi *NAPS PALLAS 200 G SAW*-paneelin hyötysuhde saadaan selville, kun tiedetään, että paneelin P_{max} on $200 W_p$ säteilyintensiteetti $1\,000 W/m^2$ ja paneelin pinta-ala $1.45 m^2$:

$$\eta = \frac{200W_p}{\frac{1000W}{m^2} * 1.45m^2} = 0,138$$

Tällöin paneelin hyötysuhteeksi tulee noin 14 %. Koko järjestelmän hyötysuhde tulee jäämään paneelien hyötysuhdetta hieman alemmaksi, kun otetaan järjestelmän tehoelektronikan ja kaapeleiden aiheuttamat tehohäviöt huomioon. [9.]

3.5 Aurinkopaneelin energiantuoton arviointi

Aurinkopaneelin tuoton arvioinnissa pitää tuntea paikalliset ilmasto-olosuhteet, sillä vuodenajan ja säätilan merkitys aurinkopaneelien sähköntuottoon on merkittävä. Hyvän paikallistuntemuksen avulla pystytään esimerkiksi määrittämään järjestelmälle vuotuinen huipunkäyttöaika (t_h). Huipunkäyttöaika tarkoittaa sitä tuntimäärää, millä järjestelmä tuottaa energiaa vuodenaikana nimellistehollaan. järjestelmän huippukäyttöaika t_h määritellään vuotuisen energian tuoton W_a ja paneeliston nimellistehon P_{nim} Suhteena. (kaava 5)

$$t_h = \frac{W_a}{P_{nim}} \quad \begin{array}{l} t_h = \text{huipunkäyttöaika} \\ W_a = \text{vuotuinen energiantuotto} \\ P_{nim} = \text{Paneeliston nimellisteho} \end{array} \quad (5)$$

Etelä-Suomessa aurinkoisena kevät- ja kesäpäivänä tuotannon huipunkäytön yläraja on noin 6,5 tuntia, kun taas puolipilvisinä päivinä 4,5 tuntia. Syys- ja talvipäivinä sähköntuotanto nimellisteholla jää 0,15 - 1,1 tuntiin päivässä riippuen auringon näkyvyydestä. Huipun käyttöaika-lukemissa ei ole tässä yhteydessä otettu huomioon tehoelektroniikkakomponenttien häviöitä. Lisäksi paneeliston on oletettu toimivan koko ajan maksimitehopisteessä. Pitkän aikavälin keskiarvoon perustuva vuosituotto Etelä-Suomen nimellistehoisella sähköntuotannolla on noin 920 tuntia. Vuotuiset vaihtelut ovat tavanomaisesti 800 ja 1 000 huippukäyttötunnin välillä. Helppona muistisääntönä voidaan pitää sitä, että 100 W_p nimellistehoinen aurinkopaneeli tuottaa Etelä-Suomessa parhaimmillaan noin 100 kWh energiaa vuodessa. [15.]

4 Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu

Laadukkaan aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun vaikuttavat monet tekijät, kuten järjestelmän komponenttien valinta. Jotta järjestelmästä saadaan maksimaalinen hyöty irti, pitää suunnittelussa kiinnittää huomiota nimellistehon mitoittamiseen tapauskohtaisesti, sekä pohtia tarkoin aurinkopaneeleille optimaaliset sijoituspaikat ja suuntaukset.

Energian varastointi on kallista ja yleensä tarpeetonta suurissa aurinkosähköjärjestelmissä. Tämän takia on yleistä aurinkosähköjärjestelmien kytkeminen suoraan kiinteistön sähkökeskusten kautta yleiseen jakeluverkkoon. Jakeluverkkoon liittyminen vaatii kuitenkin laitteistolta ja sähköltä tiettyjä laadullisia vaatimuksia. [16.]

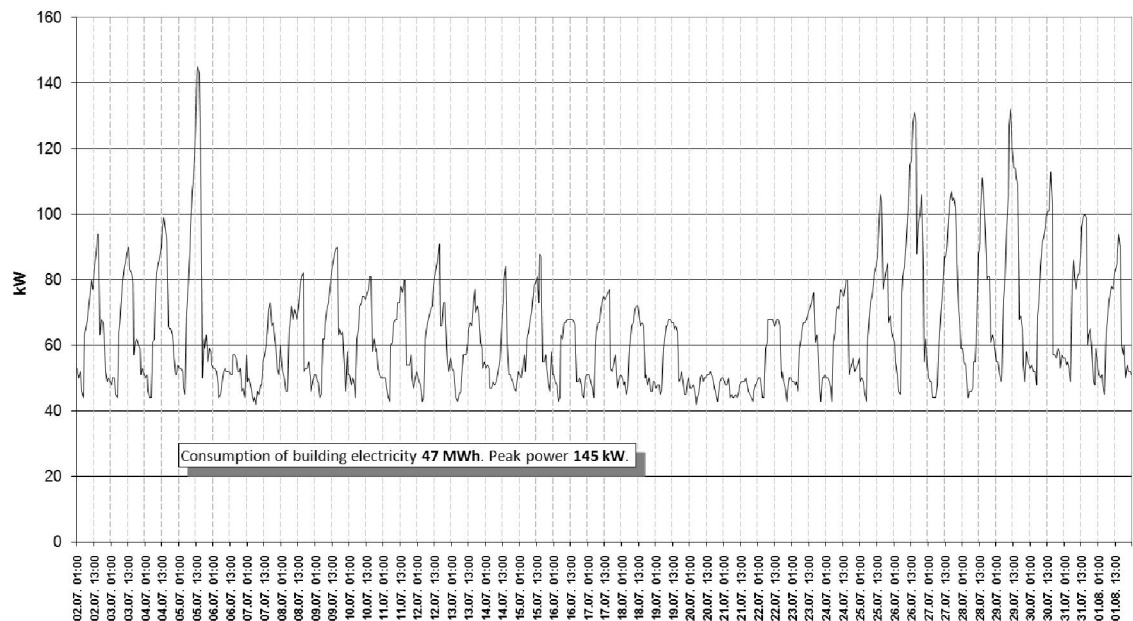
4.1 Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus

Järjestelmästä saatavan hyödyn maksimoimiseksi on paneelien mitoitus tehtävä huolella. Suurin hyöty saadaan, kun aurinkosähköllä korvataan ostosähköä ja kaikki tuotettu sähköenergia kulutetaan itse. Tämän vuoksi järjestelmän ylimitoittaminen ei kannata. Ylimitoittaminen kasvattaa takaisinmaksuaikaa, koska ylijäämäsähkö joudutaan syöttämään yleiseen sähköverkkoon, joko ilmaiseksi tai markkinahintaista korvausta vastaan. Markkinahintainen korvaus on noin kolmasosa ostosähkön hinnasta, koska ostosähkön hinta koostuu sähkön lisäksi sähkön siirtomaksusta sekä veroista.

Energian optimoinnin kannalta mitoitus kannattaa suorittaa kiinteistön pohjakuorman mukaan, jolloin aurinkopaneelien tehtävänä on tasoittaa kiinteistön sähkönkulutusta.

Pohjakuormalla tarkoitetaan sitä kiinteistön sähkönkulutuksen osaa, joka minimissään kuluu rakennuksessa, riippumatta vuorokauden ajasta. [17.]

Rakenteilla olevan kiinteistön pohjakuorman selvittämiseksi voidaan kohteesta tehdä energiasimulointi. Mitä huolellisemmin simulointi tehdään sitä helpompi on järjestelmä suunnitella oikean kokoiseksi ja tehoiseksi. Jos aurinkosähköjärjestelmä rakennetaan jälkikäteen kohteeseen, on hyödyllistä selvittää kiinteistön tuntitehotiedot kesäkuukausilta. Kiinteistön tuntitehotiedoista selviää pohjakuorman suuruus. Kuvassa 15 havainnollistetaan erään kiinteistön tuntitehokuvaaja. Kuvasta pystytään näkemään, että kyseisen kiinteistön pohjakuorma on noin 50 kW, jolloin tämä arvo voidaan ottaa lähtökohdaksi aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa. Arkkitehtoniset seikat voivat myös vaikuttaa järjestelmän mitoittamiseen, koska rakennuksissa on aina rajallinen määrä asennuspinta-alaa paneeleille.



Kuva 15. Esimerkki tuntitehokuvaajasta

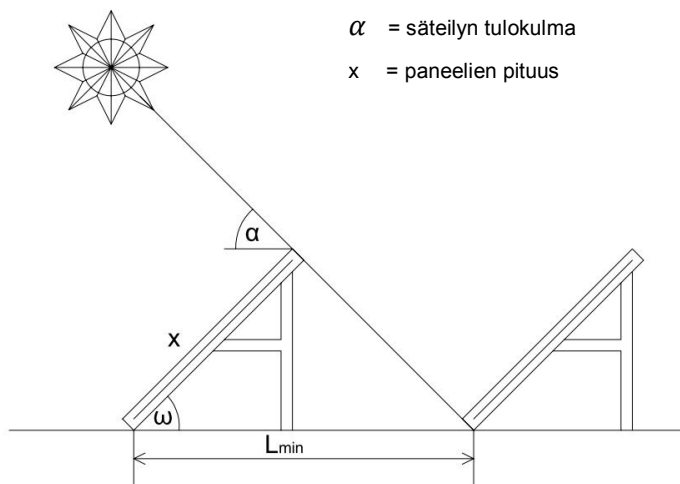
4.2 Aurinkopaneelien suuntaus ja sijoitus

Energiatuoton kannalta on tärkeää, että aurinko paistaa mahdollisimman pitkään ja esteettömästi paneelien pinnalle. Aurinkopaneelien optimaaliseen energiantuotantoon vaikuttaa merkittävästi kolme tekijää: sijainti, kallistuskulma sekä suuntaus.

Kallistuskulmaan vaikuttaa auringonsäteilyn tulokulma, joka on paneelin sisään tulevan säteilyn ja pinnan välinen kulma. Säteilyn osuessa kohtisuoraan paneelin pintaan on säteilyn tulokulma 0, jolloin säteilystä saatava energia on suurin mahdollinen. Tulokulmaa säädetään muuttamalla paneelin kallistuskulmaa suhteessa asennuspintaan. (Kuva 18, ks. s. 19.)

Paneelin kallistuskulmankulman valintaan vaikuttaa auringon korkeus suhteessa horisonttiin. Suomessa edullisimmat kallistuskulmat ovat 30° ja 90° välillä riippuen vuodenaikasta. Aina paneeleita ei kuitenkaan pysty asentamaan optimikulmaan. Alle 15° kallistuskulmia tulisi kuitenkin välttää, jottei likaa, pölyä tai lunta pääse kertymään paneelien pinnoille. Kallistuskulmaa määritettäessä tulee ottaa huomioon myös paneelien toisilleen aiheuttamat varjot. Helsingissä optimi kallistuskulma on noin 41° [18.]. Tasaiselle pinnalle asennettaessa paneelien toisilleen aiheuttamia varjoja voidaan välttää laskemalla kaavan 6 avulla paneelien minimi-etäisyydet toisistaan (Kuva 16). [19 ; 3, s.145.]

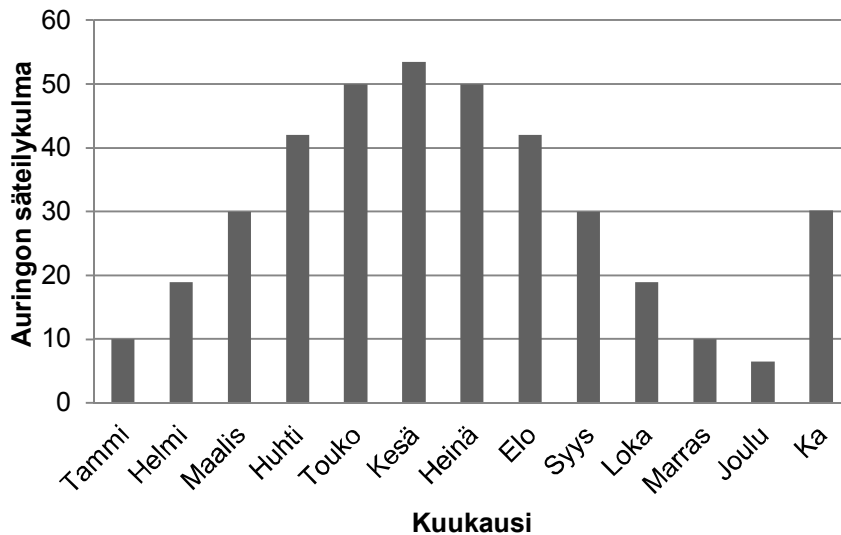
$$L_{\min} = x \frac{\sin \omega}{\tan \alpha} + \cos \omega \quad \begin{array}{l} \omega = \text{paneelin kallistuskulma} \\ L_{\min} = \text{paneelien välinen etäisyys} \\ \alpha = \text{säteilyn tulokulma} \\ x = \text{paneelien pituus} \end{array} \quad (6)$$



Kuva 16. Paneelien kallistuskulman vaikutus paneelien varjostumiseen [19.]

Esimerkiksi 1.6 m:n pituisia paneeleita peräkkäin asentamalla saadaan asennusväliksi 2.5 m, kun käytetään auringon säteilyn vuotuista keskiarvoa Helsingissä, joka on noin 30° (kuva 17).

$$L_{\min} = 1.6m \frac{\sin 40}{\tan 30} + \cos 40 = 2.5 \text{ m}$$

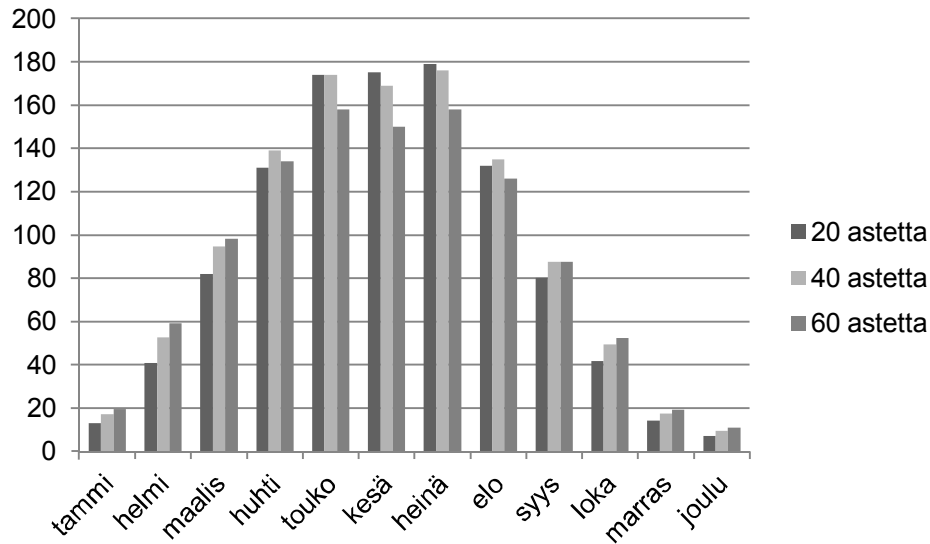


Kuva 17. Säteilyn tulokulmat kuukausittain Helsingissä [20.]

Pylväskaaviosta (kuva 18, ks seur. s.) huomataan, kun aurinko paistaa talviaikaan matalalta, vaihtoehtoista jyrkin 60°:en kallistuskulma tuottaa eniten sähköä. Kesäisin auringon paistaessa korkealta tehokkain kallistuskulma on 20°. Toisaalta koko vuoden tuottoa tarkastellessa 40°:n kallistuskulma on paras kompromissi, vaikka se tuottaa sähköä eniten vain huhti- ja elokuussa (taulukko 1). Todellisuudessa aurinkopaneeleihin osuvan säteilyn määrä ei ole aivan yhtä symmetrinen vuodenaikojen mukaan, kuin pylväsdiagrammi osoittaa, sillä varsinkin talvisin ja alkukeväisin, lumen kertymä paneelien pinnoilla näkyy mittaustuloksissa alentavana tekijänä.

Taulukko 1. Säteilyn kokonaisenergiämäärä Helsingissä eri säteilykulmilla

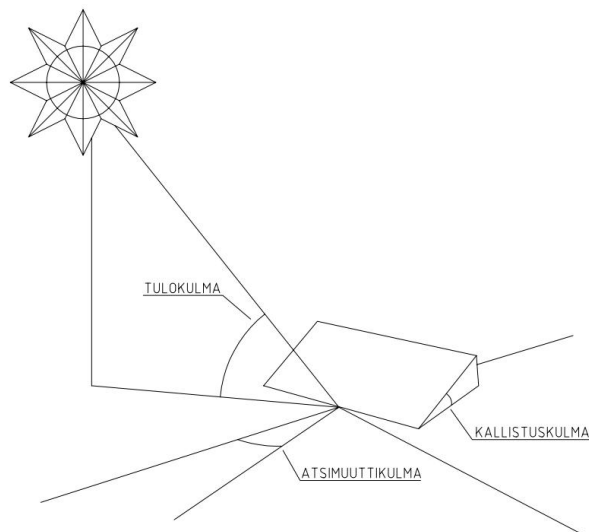
Kallistuskulma	kWh/a
20°	1071
40°	1122
60°	1073



Kuva 18. Säteilyn määrä 20, 40 ja 60 asteen kulmissa Helsingissä (kWh/m^2) [20.]

Säteilytiedot ovat peräsin PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System Interactive Maps*) tietokannasta [21.]. Tietokanta perustuu kymmenen vuoden säteilykeskiarvoihin.

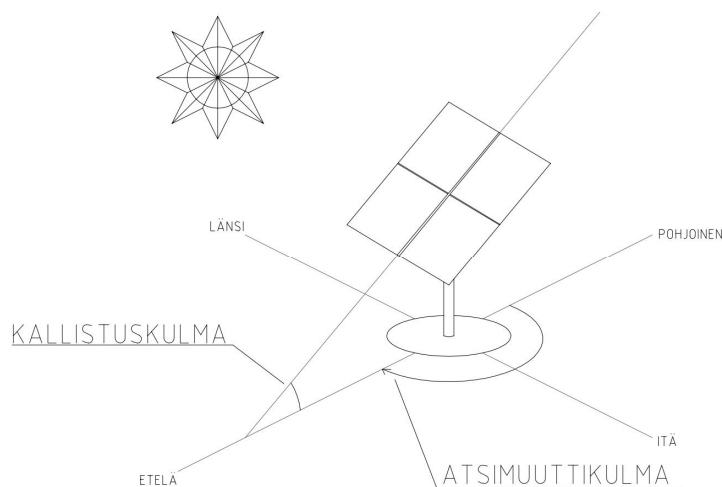
Suuntaus eli atsimuuttikulma määritellään ilmansuuntien mukaan (Kuva 19). Etelä on 0° , länsi $+90^\circ$ ja itä -90° . Maapallon pyöriessä akselinsa ympäri auringonsäteily osuu jatkuvasti eri tulokulmista paneeliin. Yleensä suuntaus etelään on paras mahdollinen, sillä pohjoisella pallonpuoliskolla aurinko säteilee etelästä kaikkein korkeimmalta, jolloin myös säteilyn intensiteetti on korkein mahdollinen. Tarkan kallistuskulman määrittäminen on energian talteenoton kannalta tärkeämpää, kuin atsimuuttikulman määrittäminen. [3, s. 13]



Kuva 19. Aurinkopaneelin suuntaukseen vaikuttavat kulmat

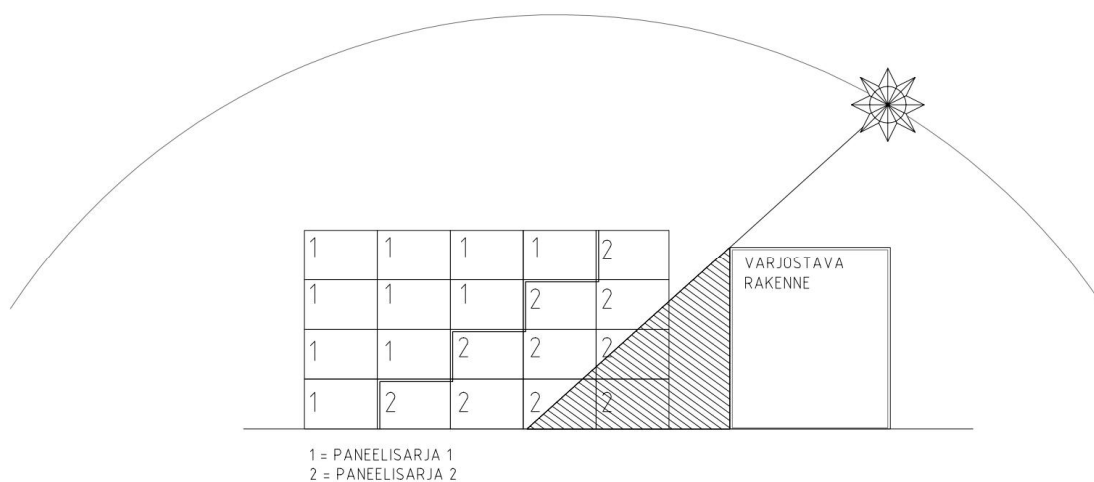
Paneelit asennetaan tavanomaisesti kiinteäkulmaisena, koska asennustapa on luotettava ja taloudellinen. Kiinteän asennustavan miinuspuolena on se, että paneelit eivät pysty hyödyntämään optimaalisesti kaikkea auringosta tulevaa säteilyä, sillä säteilyn tulokulma vaihtelee maapallon pyöriessä akselinsa ympäri. Aurinkopaneeli voidaan varustaa seurantalaitteella, jolloin paneeli säätyy auringon liikkeiden mukaan.

Seurannan voi toteuttaa joko yksiakselisesti säätämällä paneelin kallistuskulmaa tai atsimuuttikulmaa, tai kaksiakselisesti jolloin seuranta tapahtuu kallistuskulman ja atsimuuttikulman yhdistelmällä (kuva 20). Korkeilla leveyspiireillä atsimuutioseuranta tuottaa hieman enemmän energiaa kuin pelkän kallistuskulman säätäminen. Kahden akselin seurannalla voidaan teoriassa nostaa energian tuottoa kesäaikaan 60 %. Yleensä kaksiakseliseuranta vaatii kuitenkin enemmän huoltoa ja energiaa kääntömekanismien toimintaan, joten todellinen sähköntuoton kasvu on noin 30 %. Seurantalaitteet lisäävät investointikustannuksia ja pidentävät järjestelmän takaisinmaksuaikaa, sekä aiheuttavat huomattavaa painon lisäystä järjestelmässä, joka pitää ottaa huomioon etenkin kattoasennuksissa. [3, s. 16.]



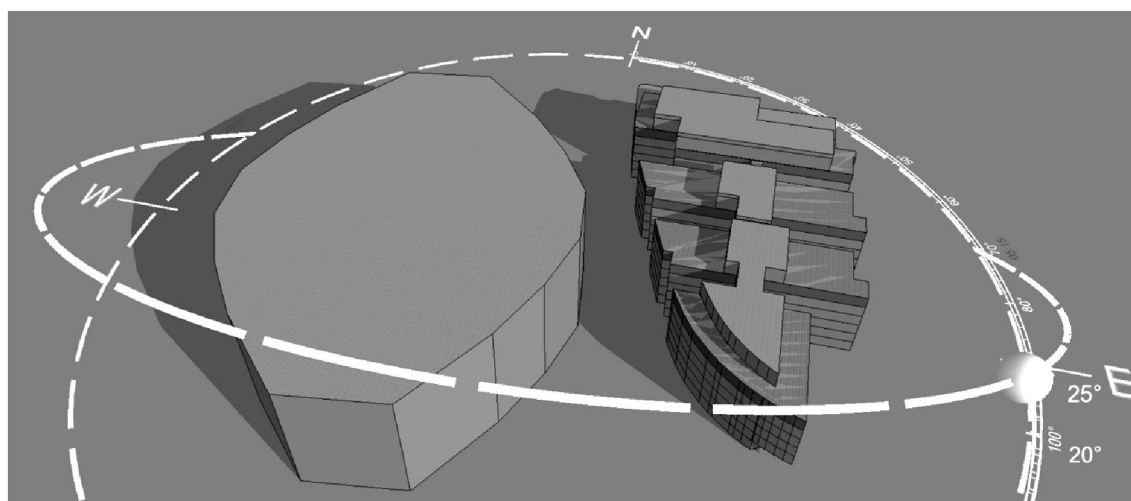
Kuva 20. Kahden akselin seurannan toimintaperiaate

Aurinkopaneelien kennojen sarjakytkennän takia paneelit tulisi sijoittaa siten, että niiden ylle ei osu varjoja, sillä yhden kennon ollessa varjossa heikkenee sähkövirran kulku merkittävästi koko paneelissa. Sama sääntö pätee paneelistojen suunnittelussa, joissa on useita sarjaan kytkettyjä paneeleita. Suunniteltaessa tämä voidaan ottaa huomioon sarjoittamalla varmasti varjoon menevät alueet erilleen muista paneeleista, jolloin sähköntuotto säilyy mahdollisimman tehokkaana suurimmassa osassa paneelista. (kuva 21, ks seur. s.). [22.]



Kuva 21. Paneelisarjojen ryhmittelyllä voidaan ottaa huomioon mahdolliset varjot

Rakennusosien toisilleen aiheuttamaa varjostusta pystytään simuloimaan esimerkiksi Envirometal Solutions ohjelmistolla. Ohjelmiston antamia havainnekuvia voidaan käyttää hyödyksi paneelien sijoituspaikkaa valittaessa (kuva 22).



Kuva 22. Varjojen simulointia Integrated Enviromental Solutions ohjelmalla

Hyvä sijoituspaikka paneeleille on tavallisesti kiinteistön katto, jolloin vältetään yleensä suuret varjojen aiheuttajat ja likaantumistekijät. Paneelit eivät myöskään vaadi katto-asennuksessa ylimääräistä rakennuspinta-alaa. Runsaslumiset talvet tulee ottaa huomioon sijoittamalla paneelin alareuna kattopinnasta riittävän korkealle, jottei talvella satava ja paneeleista alas valuva lumi kasaannu paneelien eteen. [3, s. 145.]

Katolle sijoituspaikkaa mietittäessä tulisi myös kiinnittää huomiota siihen, että turvallinen huolto ja kunnossapito ovat mahdollisia, eikä paneeleista aiheudu vaaraa sivullisille. Paneelien päälle muodostunut lumi voi olla riskitekijä tilanteessa, jossa kertynyt lumi pääsee vapaasti liukumaan paneelia pitkin katolta alas. Kyseisissä tapauksissa paneelit tulisi varustaa lumiesteillä. Lumiesteet eivät saa kuitenkaan aiheuttaa merkittäviä varjoja paneelien pinnoille (kuva 23).



Kuva 23. Vaisalan pääkonttorin katon aurinkopaneelisto on varustettu lumiesteillä

4.3 Vaihtosuuntaajat

Vaihtosuuntaajat eli invertterit ovat paneelien jälkeen toiseksi tärkein komponentti aurinkosähkön tuotannossa. Inverttereiden yksinkertainen tarkoitus on muuttaa aurinkopaneelien tuottama tasasähkö verkkoon sopivaksi vaihtosähköksi. Inverttereitä on neljää eri tyyppiä [23.]:

1. Mikroinvertteri

Aurinkosähköjärjestelmän jokaisella paneelilla on oma muista erillinen mikroinvertteri. Invertterin suurin etu on se, että yhden paneelin vikaantuessa, muiden mikroinverttereillä varustettujen aurinkopaneelien toiminta jatkuu normaalin. Erillsten mikroinverttereiden avulla käyttäjä saa myös tarkempaa tietoa aurinkojärjestelmänsä toiminnasta jopa paneelikohtaisesti.

2. Stringi-invertteri

Stringi-invertteri on tällä hetkellä suosituin käytetyistä invertterityypeistä, sillä se sopii sekä pienii että suuriin aurinkosähköjärjestelmiin. Invertteriin kytketään eri määrä aurinkopaneeleita taajuusmuuntajan virran ja jännitteen keston mukaan. Yhteen aurinkosähköjärjestelmään saattaa kuulua useita kymmeniä stringi-inverttereitä.

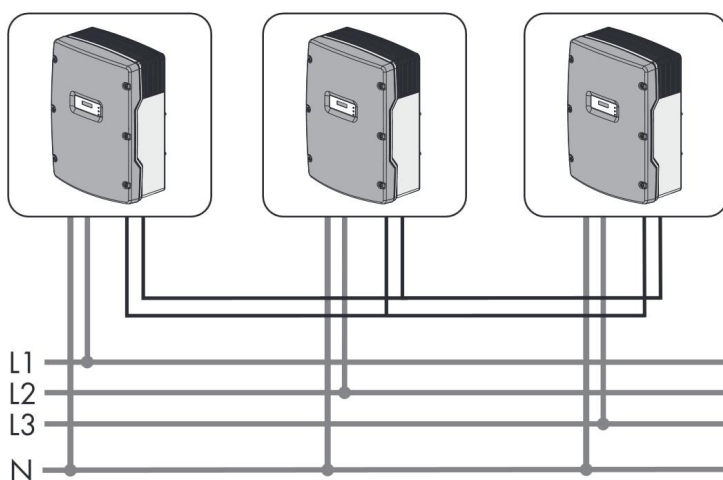
3. Off-Grid-invertteri

Invertterillä on kaksi ominaisuutta, se muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi, sekä lataa ja ylläpitää järjestelmään kuuluvia akustoja lataussäätimen avulla. Off-Grid-invertteritä käytetään tavallisesti saarekekäytöissä valtakunnanverkon ulkopuolella. Lataussäädintä lukuun-ottamatta invertterin toimintaperiaate on sama kuin stringi-invertterillä.

4. Keskusinvertteri

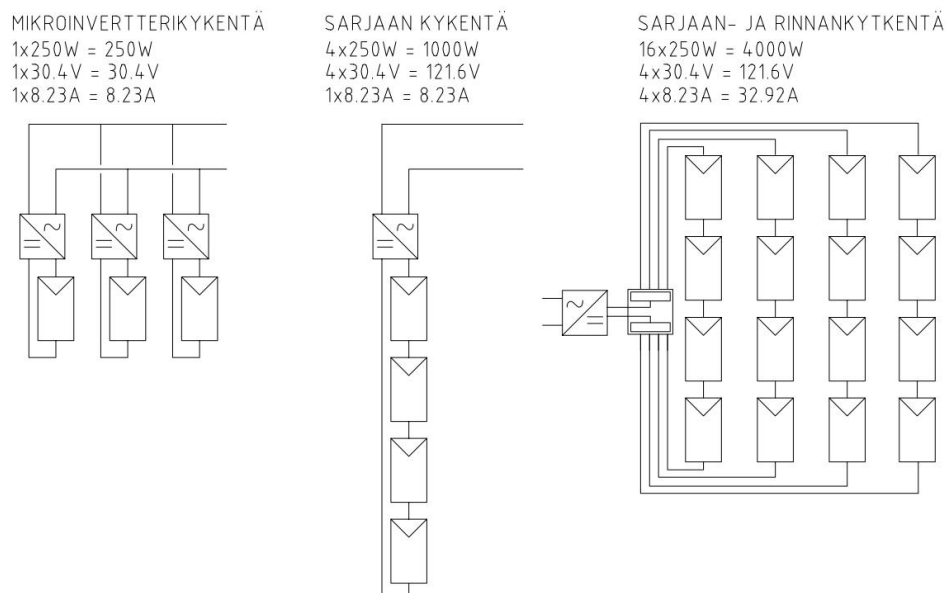
Invertteriä käytetään tavanomaisesti suurissa aurinkosähköjärjestelmissä, jotka toimivat voimalakäytössä. Yhden keskusinvertterin teho vaihtelee tavallisesti 50 kW - 1MW välillä.

Invertterit kytketään yksi- tai kolmivaiheisesti rakennuksen sähkökeskukseen. Kapasiteetiltaan pienet järjestelmät kytketään yleensä yksivaiheisesti, mutta yli 3,7 kVA:n järjestelmät tulee kytkeä aina kolmivaiheisesti. Inverttereitä on saatavilla sekä yksi- että kolmivaiheisena. Jos useampi suuritehoinen yksivaiheinen invertteri syöttää erillisiä vaiheita, on inverttereiden välillä pystyttävä tekemään tehon jako (Power Balancer) kuormien tasaamiseksi kuvan 24 mukaisesti. Sähkökuorman jakautuessa tasaisesti vaiheiden välille, vältetään epäsymmetristen kuormien muodostus. [24. ; 25.]



Kuva 24. Tehonjaon toteutuskaavio SMA Synny Mini Central inverttereillä

Aurinkopaneeleita kytketään sovelluskohtaisesti erilaisiin kombinaatioihin halutun virran ja jännitteen saavuttamiseksi. Aurinkopaneelien kytkennät tehdään ennen vaihtosuuntaajia liitántärasiaassa (*Array box/Combiner box*). Liitántärasia sisältää tavanomaisesti paneelisarjojen rinnankytkennät ja ylijännitesuojaukset [26.]. Kuvassa 25 (ks. seur. s.) esitetään kytkentöjen ja paneelimäärien muutosten vaikutusta inverttereiden valintaperusteisiin 250 W_p:in nimellistehoisella aurinkopaneelilla. Esimerkkipaneelin nimellisvirta on 8,23A ja nimellisjännitte 30,40 V

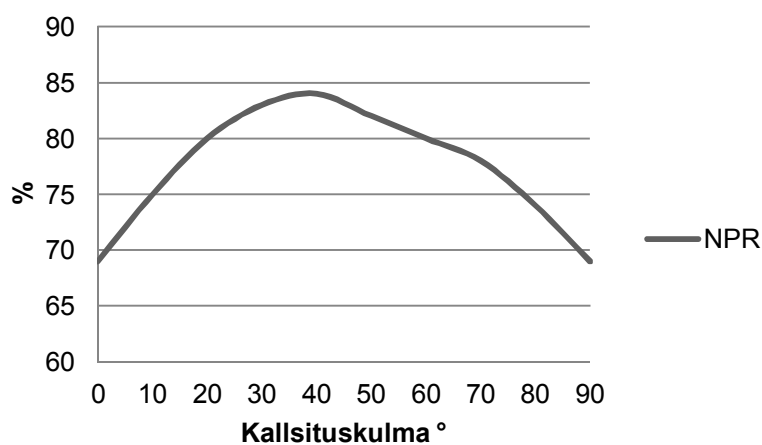


Kuva 25. paneelien kytkentöjen vaikutus vaihtosuuntaajien valintaan

Invertterin valintaan vaikuttaa myös aurinkopaneelin/aurinkopaneeliketjun ja invertterin nimellistehon suhde eli *nominal power ratio* (NPR) (Kaava 7). Nimellistehon suhde tulee ottaa huomioon, sillä inverttereitä ei kannata ylivoimistaa paneeliston kokoon nähden, koska se vähentää koko järjestelmän hyötysuhdetta.

$$\text{Nimellistehon suhde} = \frac{\text{Invertteri nimellisteho}}{\text{Aurinkopaneeliston nimellisteho}} \quad (7)$$

Nimellistehon suhteeseen vaikuttaa paneeliston sijainti sekä kallistuskulma [22.]. Kuvaan 26 on piirretty MSA Sunny Desing ohjelman antamat nimellistehon suhteet Helsingissä paneelien eri kallistuskulmille.

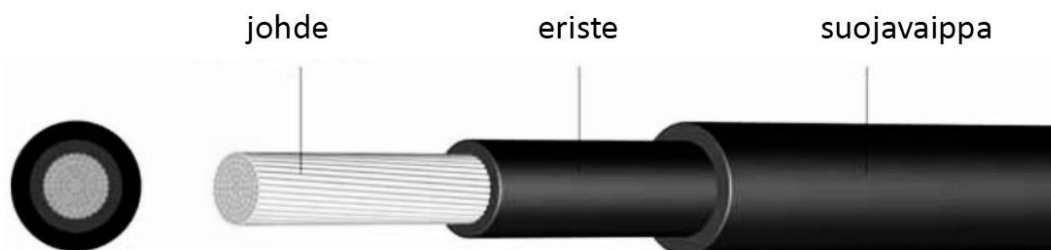


Kuva 26. Nimellistehon suhteen kuvaaja

4.4 Aurinkopaneelien kaapelointi

Aurinkopaneelien johtimien valinta tehdään tasajännitepuolelle aurinkosähköjärjestelmän oikosulkuvirran perusteella. Standardin SFS 6 000-7-712 mukaan kaapelin ylikuormitussuojaus voidaan jättää pois paneeliketjukaapeleista, jos kaapelin jatkuva kuormitettavuus on vähintään 1,25 kertaa paneeliketjun oikosulkuvirta. Esimerkiksi järjestelmässä jossa oikosulkuvirta on 10 A, tulisi tasajännitekaapeli mitoittaa vähintään 12.5 A:n kuormitettavuudelle. Aurinkopaneelien suojaus määritellään erikseen valmistajien ohjeissa.

Aurinkosähköjärjestelmän kaapelit altistuvat tuulelle, jälle, lämpötilojen muutoksille ja auringon säteilylle, näitä ulkoisia tekijöitä kaapelien tulisi kestää. Hyvin suunnitellulla johtoreitillä, kaapelien huolellisella kiinnityksellä sekä käyttämällä UV-kestoisia ja kaksoiseristettyjä kaapeleita, voidaan minimoida kaapelin ulkoiset rasitustekijät. Käyttämällä vaipallisia yksijohdin kaapeleita (kuva 27), minimoidaan maa- ja oikosulkuvirtojen vaikutus. [27.]

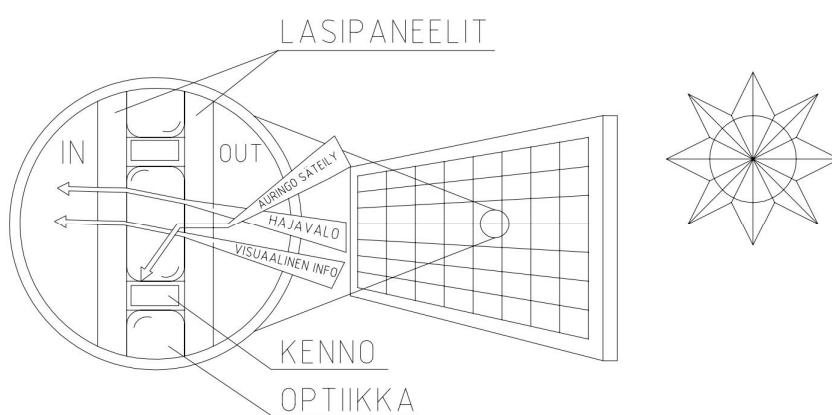


Kuva 27. Vaipallinen yksijohdinkaapeli

Vaihtosuuntaajien ja pääkeskuksen välinen kaapelointi kannattaa toteuttaa häiriösuojaetuilla kaapeleilla. Häiriösuojattu kaapeli vähentää vaihtosuuntaajien mahdollisesti aiheuttamia häiriöitä, jotka voivat aiheuttaa virheitä esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmän tuoton mittaamisessa pääkeskuksella [28.]. Kaapeloinnin mitoitus tehdään standardin SFS 6 000 mukaisesti. Muita vaatimuksia vaihtosähköpuolen kaapeloinnissa ei ole.

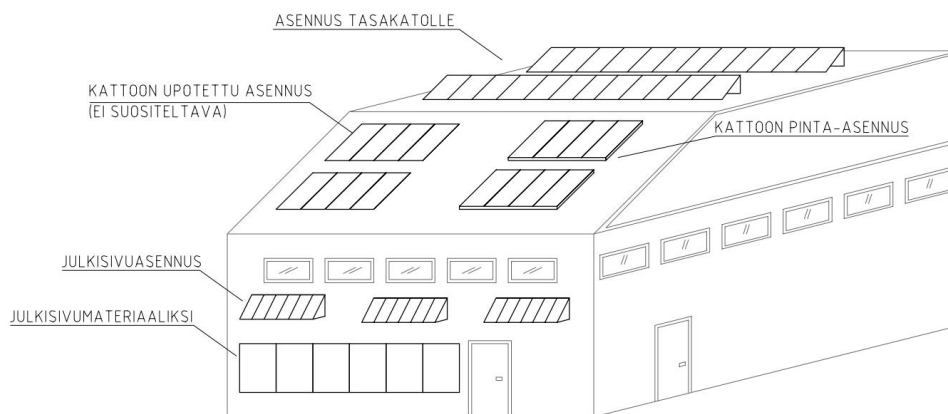
4.5 Aurinkopaneelit julkisivumateriaalina

Arkkitehtuurisesti korkeatasoisten rakennusten julkisivuihin voidaan integroida aurinkosähköjärjestelmän osia. Integroidun järjestelmän päämääränä on korvata rakennuksissa tavanomaisesti käytettävä materiaali aurinkopaneeleilla. Paneelit voivat korvata muun kalliin julkisivumateriaalin kuten kattotiilet, seinäelementit, parvekekaiteet tai jopa ikkunat (kuva 29). Ohutkalvomateriaalisten aurinkopaneelien tekniikka mahdollistaa paneeleille suunnattoman määrän eri väri- ja muotovaihtoehtoja. Esimerkiksi ikkunoihin integroitujen paneelien tekniikka perustuu lasin sisään upotettuihin pieniin ohutkalvomateriaalista tehtyihin aurinkokennoihin (kuva 28). [29.]



Kuva 28. Ikkunaan integroidun aurinkopaneelin toiminta [30.]

Uudisrakennukseen, johon halutaan integroitu aurinkosähköjärjestelmä, tulisi suunnitteluvaiheessa kiinnittää huomiota asemakaavaan sekä rakennuksen seinien suuntaukseen. Paneelien toimiessa julkisivumateriaalina on rakennuksen paneeli-seinän syytä olla etelän suuntainen. On myös oleellista varmistaa, ettei tulevaisuudessa ole rakennuksen eteen tulossa isoja varjostavia rakennuksia tai puustoa.



Kuva 29. Aurinkopaneelien eri asennustapoja rakennukseen

5 Aurinkosähköjärjestelmän esimerkkisuunnitelma

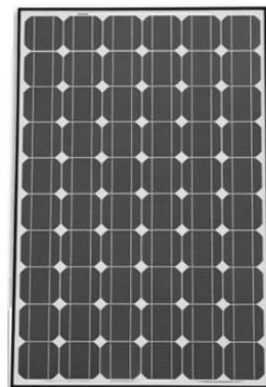
Esimerkkikohteena on Kiinteistö Oy Palvelukoti Mäkkylä. Kiinteistö koostuu kahdesta rakennuksesta: rakennuksesta A (palvelukoti) ja rakennuksesta B (palveluasunnot). Rakennuksista pyritään tekemään lähes nollaenergiataloja, jolloin kiinteistön oma sähköntuotto tukee tiukkoihin energiatavoitteisiin pääsyä. Esimerkkisuunnitelman mitoitus perustuu hypoteesiin, jossa rakennuksien pohjakuorma on noin 50 kW ja paneeleille varattu tila A rakennuksen katolla on enintään 300 m². Kiinteistö valmistuu Espoon Mäkkylään vuoden 2014 aikana.

5.1 Aurinkopaneelien valinta

Tilan rajallisuuden vuoksi paneeleiksi kannattaa valita maksimiteholtään mahdollisimman suuri paneelityyppi kokoonsa nähden. Pinta-alan ja energian tarpeen ehdot täyttyvät, kun paneeleiksi valitaan 180 kpl NAPS SAANA 250 TP3 MBW monikidepaneeleita.

Taulukko 2. NAPS SAANA 250 TP3 paneelin ominaisuudet

NAPS SAANA 250 TP3 MBW	
P_{\max}	250 W
Pinta-ala	1,61 m ²
Kennojen määrä	60
Hyötysuhde	15.7 %
Oikosulkuvirta	8.66
Tyhjäkäyntijännite	30.6



Paneeliston huipputehoksi P_{\max} saadaan:

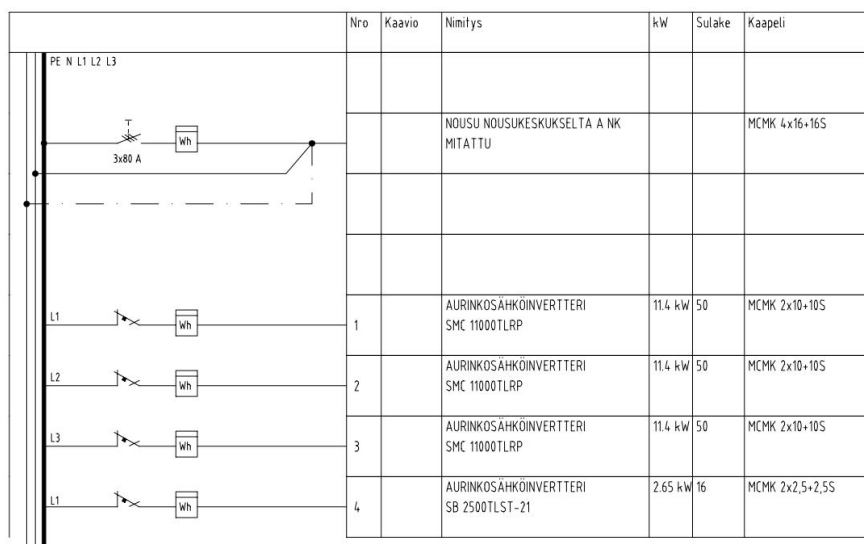
$$P_{\max} = 250 \text{ W} * 180 = 45\,000 \text{ W}$$

Paneeliston tarvitsema pinta-ala:

$$A = 1,61 \text{ m}^2 * 180 = 289 \text{ m}^2$$

5.2 Vaihtosuuntaajien valinta

Paneelisto jaetaan neljään eri kytkentäryhmään mahdollisimman hyvän nimellistehon suhteen saavuttamiseksi valituille inverttereille. (NPR). Vaihtosuuntaajiksi järjestelmään valitaan neljä SMA:n (*Solar Technology AG*) invertteriä, jotka kytketään aurinkosähkökeskuksen eri vaiheille keskuskaaviokuvan 30 mukaisesti.



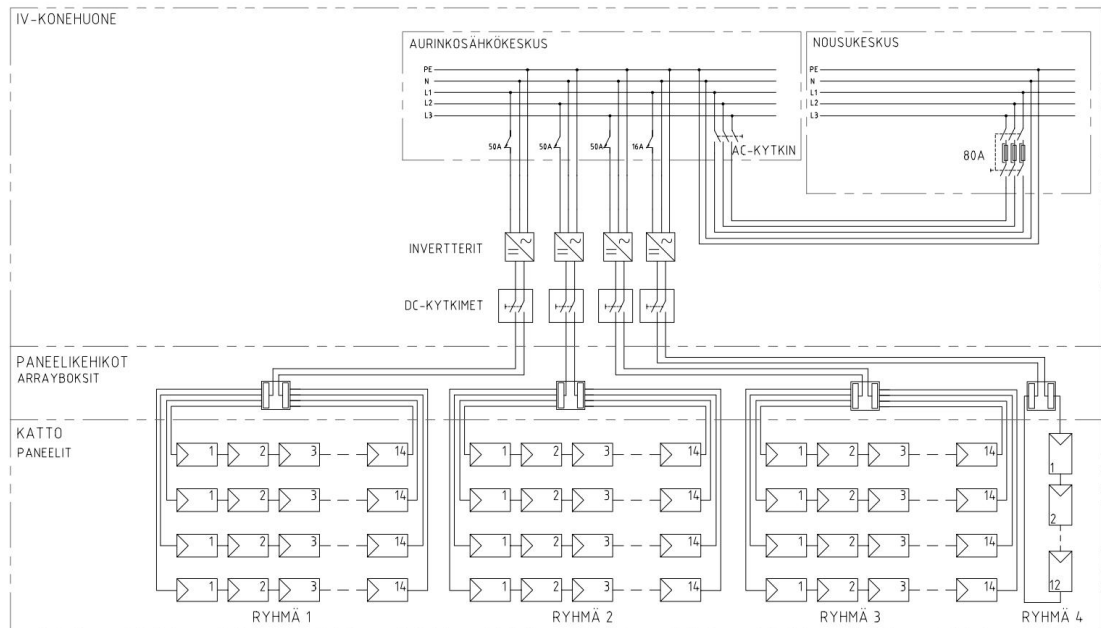
Kuva 30. Aurinkosähkökeskuksen keskuskaavio

Taulukko 3. Vaihtosuuntaajien ominaisuudet ja aurinkopaneeliryhmät

3 KPL SMC 1100TLRP		RYHMÄT 1 - 3	
Teho	11.40 kW	14.00 kW _p	
Virta	34 A	32.9A	
Jännite	333-700V	398V	
1 kpl SB 2500TLST-21		RYHMÄ 4	
Teho	2.65kW	3.00 kW _p	
Virta	15 A	8.2A	
Jännite	125-750V	525V	



Invertterit syöttävät IV-konehuoneen aurinkosähkökeskusta, josta on syöttö kerroksen nousukeskukseen. Kolmen suurimman paneeliryhmän yksivaiheisten inverttereiden pitää pystyä keskenään tehon jakoon, ja siksi suunnitelmaan valitaan SMC 1100TLRP invertterit, joissa on Power Balancer -ominaisuus. Pienin paneeliryhmä voi syöttää yhtä yksittäistä vaihetta, koska ryhmän maksimiteho jää alle 3,7 kW_p. Järjestelmä kytketään ja ryhmitellään kuvan 31 mukaisesti.

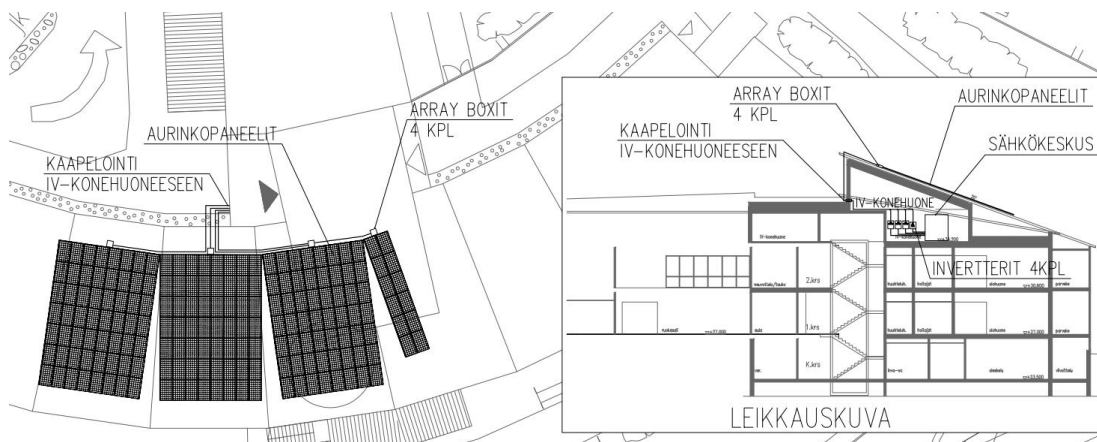


Kuva 31. Paneelien ryhmittely ja kytkennät

5.3 Aurinkopaneeleiden sijoitus

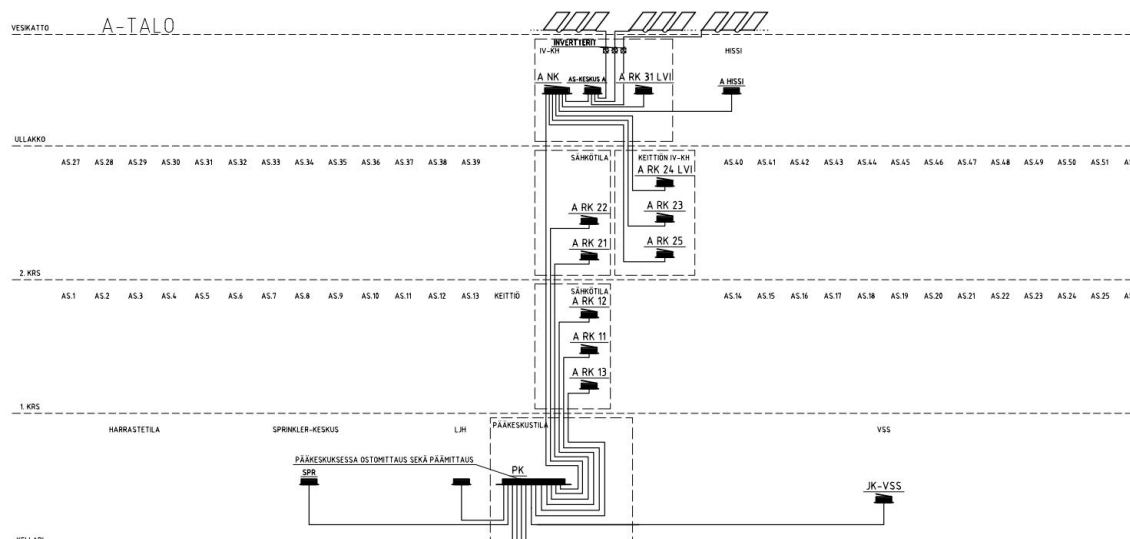
Aurinkopaneelit asennetaan ryhmittäin A-talon katon eteläpuolelle 20°:een asennuskulmaan katon kallistuskulman mukaisesti (kuva 32). Paneeliryhmien viereen sijoitetaan liitäntäkotelot (*array box*), joihin tehdään paneeliryhmien kytkennät ja sijoitetaan tasavirtapuolen sulakkeet sekä ylijännitesuojat.

Liitäntäkoteloinnin sijoittamisella paneeliston läheisyyteen säästetään kaapeloinnissa, koska tällöin ei tarvitse kaikkia DC-puolen kaapeleita viedä keskukselle saakka.



Kuva 32. Aurinkopaneelien sijoitus ja kaapelointi

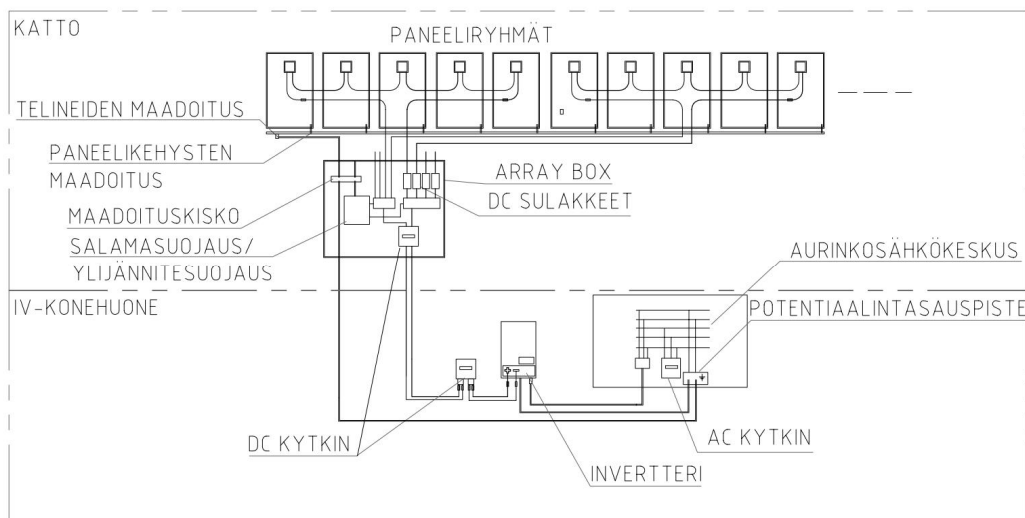
Aurinkopaneelien invertterit syöttävät aurinkosähkökeskusta. Aurinkosähkökeskus kytetään A-rakennuksen IV-konehuoneen nousukeskukseen. Nousukeskuksesta tuotettu sähkö jakaantuu talon omaan kulutukseen kuvan 33 nousujohtokaavion mukaisesti. Aurinkosähkökeskus varustetaan erillisellä mittauksella, josta selviää rakennuksen oman tuotannon kulutus. Yli 3x63 ampeerin käyttöpaikkaan sijoitettu voimalaitos tulee varustaa erillisellä mittauksella josta selviää oman tuotannon kulutus [16].



Kuva 33. Nousujohtokaavio

5.4 Aurinkopaneeleiden suojaukset

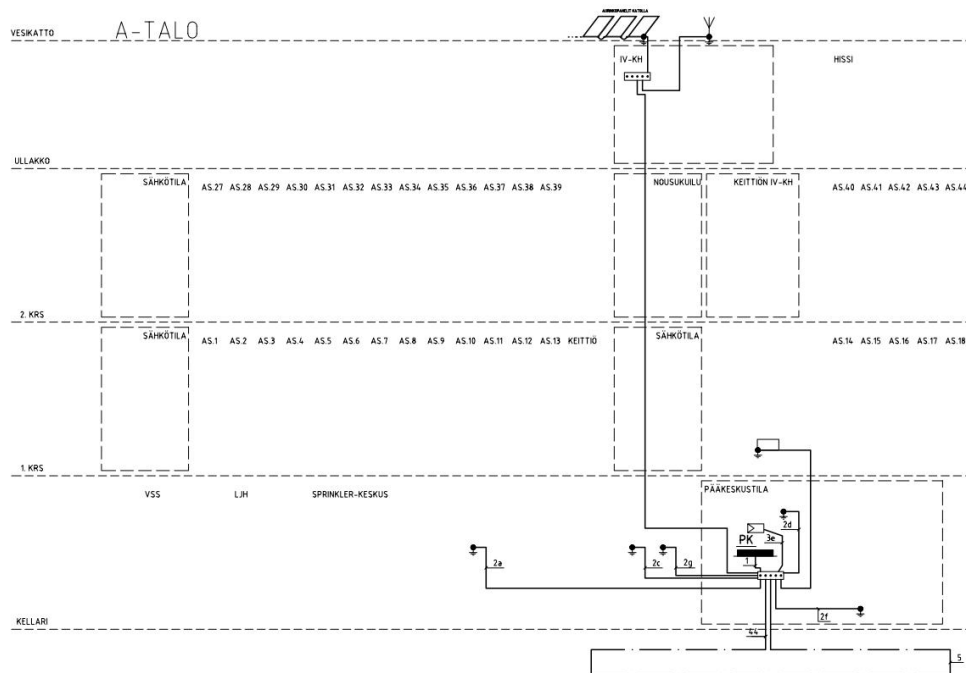
Aurinkopaneeleiden suojauksiin kuuluvat ylijännitesuojaus, maadoitus, AC ja DC puolen sulakkeet sekä kytkimet ja katkaisijat. Kuvassa 34 esitetään suunnitelman suojausperiaatteet sekä DC että AC puolelle.



Kuva 34. Aurinkopaneelijärjestelmän suojausperiaate

Paneeleiden liitántärasiaan (*Array Box*) sijoitetaan DC puolen sulakkeet, ylijännitesuojaus sekä DC puolen katkaisija. IV konehuoneeseen sijoitetaan erillinen DC katkaisija turvakytkimeksi sekä huoltotoimenpiteiden varalle. AC puolen kolmivaiheinen katkaisija sijoitetaan aurinkosähkökeskukseen, jossa se toimii käsikäyttöisenä kytkimenä sekä elektronisena katkaisijana.

Maadoitusjärjestelmä tehdään standardin SFS 6 000-5-54 mukaan. Aurinkopaneelien metalliset rungot liitetään erillisillä maadoitusjohtimilla paneelien telineisiin. Maadoitus ei saa katketa vaikka yksi tai useampi paneeli otetaan irti järjestelmästä. Paneelien telineet maadoitetaan liitántärasian maadoituspisteelle, josta on maadoituskaapeli nousukeskuksen potentiaalitasauspisteelle. Liitántärasian ylijännitesuojat maadoitetaan rasian maadoituspisteeseen. Aurinkopaneelit liitetään kiinteistön potentiaalintasaukseen kuvan 35 mukaisesti.



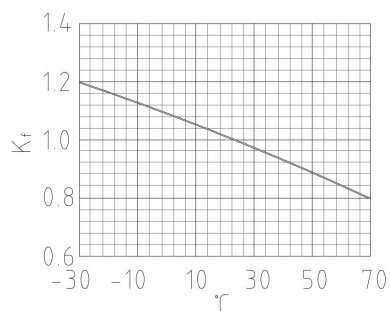
Kuva 35. Aurinkopaneelien liitos rakennuksen potentiaalintasaukseen

5.5 Johdonsuojien mitoitus

Tasajännitepuolen johdonsuoja-automaatit mitoitetaan kaavan 8 avulla [31.]:

$$I = \frac{I_{sc} * 1,56}{K_f} \quad \begin{array}{l} I = \text{Johdonsuojan virran kesto} \\ I_{sc} = \text{Paneeliketjun oikosulkuvirta} \\ K_f = \text{Ympäristön lämpötilakerroin} \end{array} \quad (8)$$

Ympäristön lämpötilakerroin saadaan kuvan 36 kaaviosta. Suomessa voidaan yleisesti käyttää 1:stä lämpötilakertoimena, sillä keskilämpötila kesällä Suomessa on noin 15 C astetta. [32.]



Kuva 36. Lämpötilakerroin kaavio.

Jokainen liitäntärasialle tuotu erillinen paneeliryhmä laitetaan oman johdonsuoja-automaatin taakse, jolloin johdonsuojan lauetessa mahdollisimman vähän paneeliryhmiä jää pois käytöstä. Suunnitelman paneeliryhmät 1-3 koostuvat neljästä erillisestä paneeliketjusta, ja ryhmä 4 yhdestä paneeliketjusta. Paneeliketjujen sarjaankytkennän takia oikosulkuvirta jokaisessa ketjussa on $8,66 A_{sc}$. Kaavan 8 mukaan johdonsuoja-automaattien minimi kestoksi saadaan 13,5 A, jolloin ylivirtasuojaksi valitaan sopiva eli 16 A johdonsuoja-automaatti.

$$I = \frac{8,66 * 1,56}{1} = 13,5 \text{ A}$$

Taulukko 4. DC-puolen johdonsuoja-automaatit

Ryhmät DC	Johdonsuojat
1	4x16 A
2	4x16 A
3	4x16 A
4	1x16 A

Vaihtojännitepuolen johdonsuoja-automaatit mitoitetaan AC puolen virran mukaan, joka lasketaan kaavan 10 mukaan:

$$I = \frac{P}{U} \quad \begin{array}{l} I = \text{virta} \\ I_{sc} = \text{invertterin teho} \\ K_f = \text{AC-jännite} \end{array} \quad (10)$$

Ryhmät 1-3

$$I = \frac{11.4kW}{231V} = 49A$$

Ryhmä 4

$$I = \frac{2.65kW}{231V} = 11.5A$$

Taulukko 5. AC-puolen johdonsuoja-automaatit

Ryhmät AC	Virta I	Johdonsuojat
1	49 A	50 A
2	49 A	50 A
3	49 A	50 A
4	12	16 A

Aurinkokeskuksen katkaisijaksi valitaan 80 A elektronisilla suojareleillä varustettu kolmivaiheinen katkaisija. Katkaisija toimii myös käsikäyttöisenä kytkimenä vika- ja huolto-tilanteissa. Katkaisija varustetaan tarpeen mukaan etäohjauksella sähköverkon haltijan niin vaatiessa.

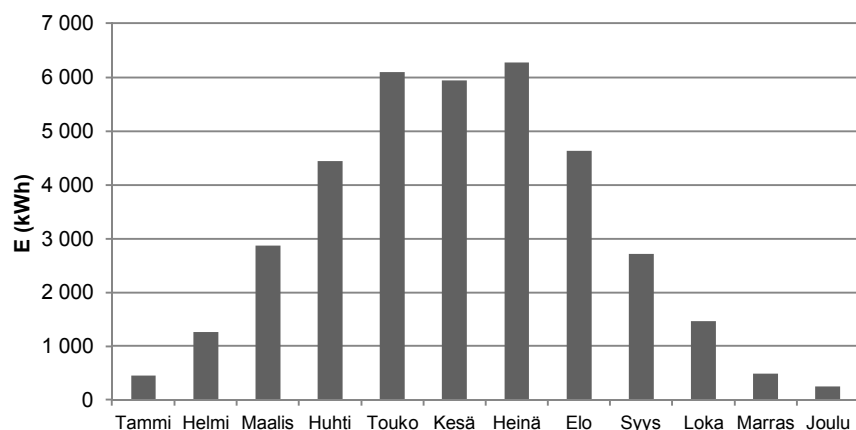
5.6 Suunnitelman kustannukset ja tuotonarviointi

Uusiutuvien energialähteitä energiaratkaisuihin on mahdollista saada energiatukea. Tuen suuruus voi enimmillään olla 40 % investointikustannuksista. Energiatuki eroaa syöttötariffista siten, että sen myöntämien harkitaan tapauskohtaisesti. Energiatukea haetaan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksilta silloin kun investoinnin suuruus on alle kolmemiljoonaa euroa. Suomen uusiutuvan energiantukijärjestelmän syöttötariffi ei

koske vielä aurinkosähköä. [33.] Esimerkkikohteen kustannusarviossa ja takaisinmaksuajassa käytetään taulukon 4 arvoja:

Taulukko 6. kustannusarvio

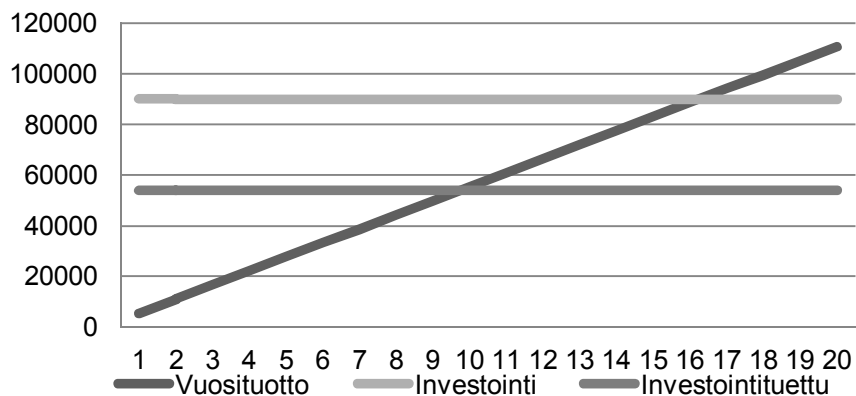
Aurinkosähköjärjestelmän kapasiteetti	45	kW _p
Sähköntuotanto (kuva 35)	36,91	MWh/a
Investointikustannus arvio	2 000	€/kW
Sähkön hinta (Verot + energia + siirto)	0,15	€/kWh
Elinkaari	35	Vuotta



Kuva 37. Järjestelmän arvioitu vuosituotto jaettuna eri kuukausille [20.]

Taulukko 7. Kustannusarvion tulokset

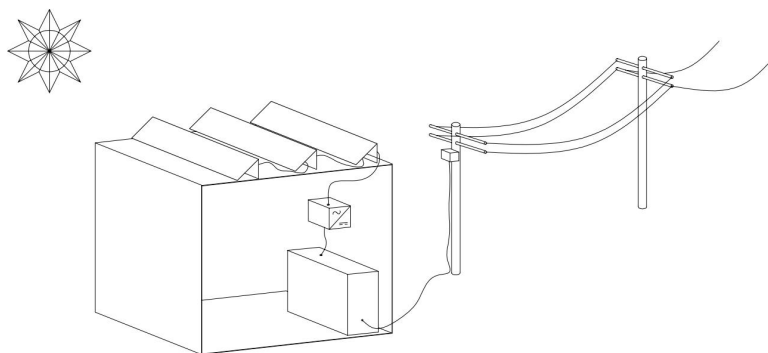
Säästö sähköenergiakustannuksissa	5 537	€/a
Investointikustannus	90 000,00	€
Suora takaisinmaksuaika (kuva 37)	16,5	a
Suora takaisinmaksuaika (40 % investointituki) (kuva 37)	10	a



Kuva 38. Järjestelmän takaisinmaksuaika

6 Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen sähköjakeluverkkoon

Sähköntuotanto on Suomessa ydinvoimaa lukuun ottamatta kaikille vapaata toimintaa. Sähköverkonhaltijan tehtävä on kuitenkin toimittaa laadukasta sähköä asiakkailleen, joten sähkön laadunhallinta on erittäin tärkeää myös sähkön pientuotannossa. Liitettäessä aurinkosähköjärjestelmä sähköverkkoon (Kuva 39), on varmistettava järjestelmän turvallisuus ja se, ettei järjestelmä aiheuta häiriöitä jakeluverkkoon. Häiriöitä voivat olla esimerkiksi jännitteen muutokset, harmoniset yliaallot sekä verkkojännitteen vääristymät.



Kuva 39. Jakeluverkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä

6.1 Jakeluverkkoon liittymisen yleiset vaatimukset

Aurinkosähköjärjestelmillä, kuten muillakin sähkön tuotantolaitoksilla on useita ominaisuuksia, jotka vaikuttavat sen toimintaan sähköverkossa. Aurinkosähköjärjestelmän nimellisteho on yksi merkittävä ominaisuus, mutta myös muut ominaisuudet ovat verkon käytön kannalta olennaisia. Tuotantolaitoksen käyttötapa vaikuttaa sähköntuottajan ja verkonhaltijan välisiin sopimuksiin sekä laitoksilta vaadittaviin toiminta- ja suojausominaisuuksiin. Taulukossa 6 on havainnollistettu käytössä olevien laitosten luokittelu käyttötavan mukaan. [16.]

Taulukko 8. Tuotantolaitoksen luokittelu käyttötavan ja tarkoituksen mukaan

		Luokka	Rinnan- käynnin esto	Tahdistus	Yhteen- sopivuus	Saareke- käytön esto	Sopimus- ehdot
Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvät tuotanto- laitokset	Rinnankäyttö estetty mekaanisesti	1	X				LE05 ja VPE10
	Sähkön siirto jakeluverkkoon estetty	2		X			LE05 ja VPE10
Yleiseen jakeluverkkoon syöttävät tuotanto- laitokset	Tuotetulle sähkölle ei ole ostajaa	3		X	X	X	LE05 ja TVPE11
	Tuottaja myy sähköä sähkömarkkina- osapuolelle	4		X	X	X	LE05 tai TLE11 ja TVPE11

Rinnankäynnin esto tarkoittaa sitä, että laitos on estetty mekaanisesti erottamalla käymästä rinnan jakeluverkon kanssa. Tahdistus tarkoittaa sitä, että laitos kykenee tahdistamaan samaan tahtiin jakeluverkon kanssa ja pysymään siinä. Saarekekäytön estolla tarkoitetaan suojausta, joka estää tuotantolaitosta syöttämästä sähköä jännitteettömään verkkoon. Yhteensopivuus kertoo laitoksen ja jakeluverkon sähköistä yhteensopivuutta. Isot aurinkosähköjärjestelmät kuuluvat lähes poikkeuksetta luokkaan 4. Taulukon sopimusehto sarake viittaa Energiategollisuus ry:n suosittamiin sopimusehtoihin:

- LE05, liittymisehdot
- TLE11, tuotannon liittymisehdot
- VPE10, verkkopalveluehdot
- TVPE11, tuotantoa koskeva liite verkkopalveluehtoihin

Aurinkosähköjärjestelmä ei saa aiheuttaa häiriöitä verkkoon eikä muihin kiinteistön sähköasennuksiin. Järjestelmän vikaantuessa tulee laitoksen suojalaitteiden irrottaa aurinkosähköjärjestelmä verkosta ja rajoittaa vika pelkästään aurinkovoimalaan, ennen kuin jakeluverkon omat suojalaitteet irrottavat koko verkonosan jännitteettömäksi. Aurinkosähköjärjestelmän haltija on vastuussa laitteiston tuottaman sähköön aiheuttamista vahingoista muille sähköverkon käyttäjille. Aurinkosähköjärjestelmän suojausmäärittelyssä tulee ottaa jakeluverkon vaatimukset ja suojausperiaatteet huomioon. Tarvittaessa suojaukset tulee suunnitella yhteistyössä paikallisen jakeluverkkoyhtiön kanssa.

Lisäksi kulutuksen tai tuotantolaitoksen synnyttämät yliaallot voivat aiheuttaa vääristymiä verkossa. Aurinkosähköjärjestelmissä yliaaltojen aiheuttajia voivat olla tehoelektroniikka, kuten vaihtosuuntaajat. Myös verkon vikavirtataso on otettava huomioon

järjestelmää suunnitellessa, sillä yksi tuotantolaitokseen kokoon vaikuttava tekijä on juuri verkon vikavirtataso. Aurinkosähköjärjestelmän aiheuttama oikosulkuvirtojen lisäys ei saa kasvattaa verkon oikosulkuvirtoja yli mittaussarvojen. Vikavirran laukaisu tapahtuu yleensä nopeasti aurinkosähköjärjestelmissä, joten ongelmat ovat pienemmät kuin generaattorin välityksellä verkkoon kytketyissä voimaloissa [17.]. Standardin SFS 6 000 kohta 551.7 sisältää ehtoja generaattorilaitosten kytkemiseksi jakeluverkon rinnalla. Aurinkosähköjärjestelmä luokitellaan generaattorivoimalaitokseksi muiden sähkövoimalaitosten tavoin [33. ; 34.]

6.2 Tuotannon mittaus

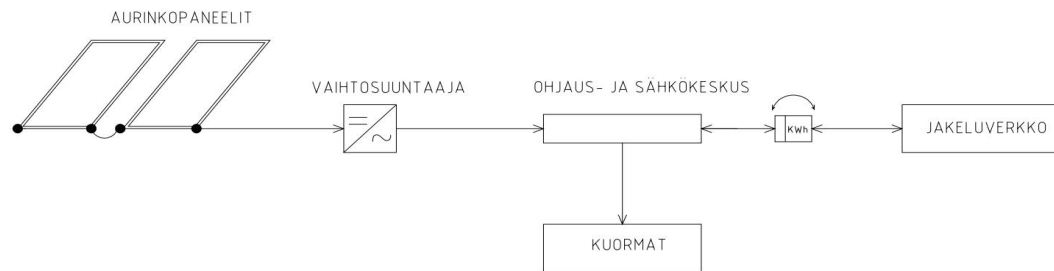
Aurinkosähköjärjestelmä, joka syöttää sähköä jakeluverkkoon, tulee varustaa pääsääntöisesti mittauslaitteistolla. Enintään 3x63 A pääsulakkeilla varustettuun käyttöpaikkaan liitetty tuotantolaitos ei kuitenkaan vaadi omaa mittalaitetta ja erillistä mittausta. Se riittää, kun kohteesta mitataan sekä sähköverkosta otettu että siihen syötetty sähkö (Kuva 40 kt seur. s.). Mittaus toteutetaan etäluettavilla mittareilla, jotka verkonhaltija omistaa. Mittarit ohjelmoidaan verkkoyhtiön toimesta mittaamaan kahdensuuntaista energiaa.

Järjestelmä, joka on sijoitettu yli 3x63 A käyttöpaikkaan, tarvitsee varustaa aina mittauksella. Mittauksen avulla määritellään oman tuotannon kulutus. Oman tuotannon kulutuksella tarkoitetaan paneelijärjestelmän tuottamaa sähköä, joka käytetään suoraan kohteessa. Sähkön tuottaja on verovelvollinen siitä oman tuotannon osuudesta, jonka hän käyttää itse kyseisessä käyttöpaikassa muihin tarkoituksiin kuin energian tuottoon jos tuotantolaitos on yli 50 kVA eli pientuotantolaitos. Pääsulakkeiden ollessa yli 3 x 63 A vastaa tuotetun sähkön kulutuksen mittaamisesta aurinkosähköjärjestelmän haltija [17].

Sähköverovelvollisuutta koskeva lainsäädäntö on oleellinen mittaamisen kannalta, koska verotettava sähkö vaatii mittauksen. Sähköverovelvollisuudesta on kuitenkin olemassa poikkeuksia sähkön tuotannolle. Valmistusveroa ja huoltovarmuusmaksua ei tarvitse maksaa sähköstä, joka tuotetaan mikrokokoluokan voimalaitoksessa.

Sähkön mittaus toteutetaan etäluettavalla tuntimittauksena. Sähkön tuottajan ja jakeluverkon haltijan välisessä verkkosopimuksessa sovitaan sähkön mittauksen järjestämisestä, mittauslaitteiston hankinnasta, sekä kustannuksen korvaamisesta.

Jakeluverkonhaltijan velvollisuuksiin kuuluu loistehon mittaukseen tarvittavan laitteiston määrittäminen. [16. ; 35.]



Kuva 40. Enintään 3x63A kokoisen verkkoliitännän mittauksen yksinkertainen toteutus

6.3 Alle 50 kV aurinkosähköjärjestelmät

Alle 50 kVA nimellistehoinen sähköntuotto määritellään Suomessa mikrotuotannoksi. Mikrotuotannon kasvaessa ja yleistyessä Suomessa sekä maailmalla, on tärkeää, että myös mikrotuotantolaitokset täyttävät tietyt sähkön laadulliset standardit.

Mikrotuotantoluokan aurinkosähköjärjestelmä on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät järjestelmän tai järjestelmän syöttämän saarekkeen irti yleisestä verkosta, jos verkkosyöttö katkeaa, jännite tai taajuus laitteiston liitännäkohdassa poikkeaa sähköverkon normaaleista ilmoitetuista arvoista. Aurinkosähköjärjestelmissä sähkön laatua tarkkailee ja säättää vaihtosuuntaajat, joihin halutut asetteluarvot määritetään. Suojauksen asetteluarvot esitetään taulukossa 7. Taulukossa U_n tarkoittaa jakeluverkon normaalia nimellisjännitettä.

Taulukko 9. Tuotantolaitoksen suojauslaitteiden asetteluarvot

parametri	toiminta-aika	asetteluarvo
ylijännite	0,2 s	$U_n + 10 \%$
alijännite	0,2 s	$U_n - 15 \%$
ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
alitaajuus	0,2 s	48 Hz
Saarekekäyttö	Enintään 5 s	

Tuotantolaitoksen pudotessa verkosta suojauslaitteiden toiminnan johdosta, saa se kytkeytyä verkkoon vasta verkon jännitteen ja taajuuden normalisoituessa sekä arvojen pysyessä aseteltujen arvojen sisäpuolella tietyn minimiajan. Vaihtosuuntaajan välityksellä verkkoon liitetyllä laitoksella minimiaika on 20 sekuntia. Tuotantolaitos on varustettava erotuslaitteella, jossa on asennonosoitus tai näkyvä avausväli ja johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy. Erotuslaite tarvitaan sähkötyöturvallisuuden varmistamiseksi.

Enintään 50 kVA:n aurinkosähköjärjestelmästä tulee toimittaa jakeluverkon haltijalle vähintään seuraavat tiedot:

- laitoksen tyyppi, nimellisteho ja nimellisvirta
- liitäntälaitteet (vaihtosuuntaajat) tyyppitiedot
- suojaukset asetteluarvot ja toiminta-ajat
- tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta

[33.]

6.4 Yli 50 kV aurinkosähköjärjestelmät

Yli 50 kVA, mutta alle 2 MVA, sähköntuotantolaitokset määritellään Suomessa pientuotannoksi. Yli 50 kVA nimellistehoisten Aurinkosähköjärjestelmän suojauksien asetteluarvot määritellään tapauskohtaisesti. Asetteluarvoihin vaikuttavat verkon rakenne, tuotantolaitoksen liittämiskohta, sekä tuotantolaitoksen tyyppi ja käyttötapa.

Aurinkosähköjärjestelmä tulee varustaa saarekekäytön estävällä suojauksella, jonka kuvaus ja toimintapa on toimitettava liityntäpisteen verkon haltijalle. Haltijan kanssa sovitaan erikseen suojauksen asetteluarvoista. Järjestelmän kytkennät ja asennukset tulee toteuttaa verkkoon laadukkaasti, jotta kytkentöjen vaikutus liityntäpisteen jännitteeseen jää mahdollisimman pieneksi. Laitoksen pitää toimia normaalisti silloin kun verkon liityntäpisteen jännite on standardin SFS-EN-50150 mukainen. Tuotantolaitos on myös varustettava erotuslaitteella, jossa on asennonosoitus tai näkyvä avausväli. Erotuslaitteelle verkonhaltijalla pitää olla avoin pääsy.

Suomen suurin aurinkovoimala on Salossa Astrum-liikekeskuksen katolla. Voimalan nimellisteho on 322 kVA. [34. ; 36.]

Yli 50 kVA:n aurinkosähkövoimalaitoksesta tulee toimittaa jakeluverkon haltijalle vähintään seuraavat tiedot:

- voimalaitoksen rakenne ja sijainti (pääkaavio, voimalaitoksen tyyppi, sijainti)
- voimalaitoksen muuntajan/muuntajien tekniset tiedot (muuntajien lukumäärä, muuntajien nimellisarvot)
- voimalaitoksen voimajärjestelmätekniset tiedot (paneelien lukumäärä, toimittaja, tyyppi, nimellisarvot, tuotantotehon riippuvuus käyttöolosuhteista, taajuuden ja loistehon säädössä käytettävät laitteet)
- voimalaitoksen ominaisuudet (Loistehokapasiteetti, kyky toimia yli- ja alijännitteellä, ali- ja ylitaajuudella, säätöominaisuudet, vaikutus sähkön laatuun)
- voimalaitoksen suojaustiedot (relesuojauskaavio, relesuojausasettelut, saarekesuojan toimintaperiaate)
- käyttöönottodokumentti (käyttöönottopöytäkirjat, loistehosäädön lopulliset asetteluarvot ja toimintatila, lopulliset relesuojausasettelut)
- muu dokumentaatio (laskentamallit)

[16.]

7 Yhteenveto

Laadukkaan aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu on monivaiheinen prosessi, johon vaikuttavat useat tekijät. Hyvään suunnitelmaan kuuluu aurinkopaneelien suuntaus, sijoitus sekä järjestelmän sähkötehon mitoitus ja keskeisten komponenttien kuten vaihtosuuntaajien valinta. Laadukkaat aurinkopaneelit huonosti suunnitellussa aurinkosähköjärjestelmässä on rahan ja energian haaskausta.

Mielestäni parhaan hyödyn aurinkosähköjärjestelmästä saadaan silloin kun aurinkopaneelien suuntaus, asennuspaikka ja mitoitus suunnitellaan huolella. Pyrkimyksenä on, että paneeleihin paistaa aurinko mahdollisimman paljon ja pitkään. Paneelien sijoitukseen liittyy olennaisesti myös järjestelmän nimellistehon mitoittaminen. Mitä suurempi nimellisteho järjestelmällä on, sitä enemmän paneelit vie asennuspinta-alaa. Tämän takia järjestelmää ei kannata ylimitoitaa kiinteistön sähkönkulutukseen nähden. Ylimitoitus kasvattaa myös järjestelmän takaisinmaksuaikaa, eikä nykyisellä tekniikalla Suomessa pystytä kuitenkaan kaikkea sähkönkulutusta tyydyttämään pelkällä aurinkosähköllä. Aurinkosähköjärjestelmät toimivat siis parhaiten kiinteistöjen kulutuspiikkien tasoittajina.

Suunnittelun kannalta vaihtosuuntaajat ovat aurinkosähköjärjestelmän toiseksi tärkein komponentti heti aurinkopaneelien jälkeen. Vaihtosuuntaajien valinta on tehtävä tarkasti ja optimoitava kulloisellekin paneelisarjalle sopivaksi. Laadukkaat ja hyvin valitut verkkoinvertterit takaavat koko järjestelmälle korkean hyötysuhteen sekä mahdollistavat helpon ja vaivattoman jakeluverkakoonliittymisen. Oikein suunniteltu ja toteutettu aurinkosähköjärjestelmä säästää rahaa ja luontoa.

Lähteet

- 1 Aurinko. 2014 Verkkodokumentti Wikipedia. < <http://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinko>> 16.12.2013. Luettu 11.2.2014.
- 2 SMG-4450 Luento 1 Aurinkosähkö. Aki Korpela. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/2012/luento1.pdf>> 31.8.2012. Luettu 16.4.2014.
- 3 Aurinko-opas 2008. Bruno Erat, Vesa Erkkilä, Timo Löfgren, Christen Nyman, Seppo Peltola, Hannu Suokivi. Kustantajat Sarmala Oy, Rakennusalan Kustantajat RAK. Julkaistu 2008.
- 4 Aurinkoenergia ABC- opas 2010. Suntekno Verkkodokumentti. <<http://www.suntekno.fi/fi/page/36>> 15.4.2010. Luettu 16.4.2014.
- 5 Auringon säteilyteho, vuositilastot. 2014. Verkkodokumentti. <<http://www.saapalvelu.fi/helsinki/vuositilastot.php>> 10.4.2013. Luettu 10.3.2014.
- 6 Global irradiation and solar electricity potential Finland. 2012. Verkkodokumentti. < <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eur.htm>> 4.9.2012. Luettu 16.4.2014.
- 7 SMG-4450 Luento 2 Aurinkosähkö. Aki Korpela. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/2012/luento2.pdf>> 31.8.2012. Luettu 16.4.2014.
- 8 How does solar energy work. Kuva. Verkkodokumentti. < <http://www.about-solarenergy.com/how-does-solar-energy-work/>> Luettu 16.4.2014.
- 9 SMG-4450 Luento 3 ja 4 Aurinkosähkö. Aki Korpela. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/2012/luento3.pdf>> 31.8.2012. Luettu 16.4.2014.
- 10 Ennätystehokas aurinkokenno kehitetty: hyötysuhde 44,7 %. 2013. CO2 raportti Verkkodokumentti. <http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastouutisia&news_id=3961> 25.09.2013. Luettu 10.2.2014.
- 11 Auto. 2014. Verkkodokumentti. Wikipedia. < <http://fi.wikipedia.org/wiki/Auto>> 25.3.2013. Luettu 16.4.2014.
- 12 Aurinkosähkökurssi syksy 2012. 2012. Kuva s.4 Verkkodokumentti. <http://kset.fi/useruploads/files/aurinkos%C3%A4hk%C3%B6kurssi_kokkola_syksy_2012%29.pdf>. Luettu 10.2.2014.
- 13 Vaisalan pääkonttori. 2010. Naps systems Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.napssystems.com/wordpress/wp-content/uploads/2013/11/Case-Introduction-Grid-Vaisala-Headquarters-Finland-FI.pdf>>. Luettu 16.4.2014.
- 14 Naps Pallas 200-210G SAW. 2010. Naps systems Oy. Verkkodokumentti. <<http://napssystems.ee/images/stories/PDF/modulesweb/Naps%20Pallas%20SAW%20Data%20Sheet.pdf>> 11.12.2013. Luettu 16.4.2014.

- 15 SMG-4450 Luento 6 Aurinkosähkö. Aki Korpela. 2012. Verkkodokumentti.
<<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/2012/luento6.pdf>> 31.8.2012 Luettu 16.4.2014.
- 16 Opas sähkön pientuottajalle 2012. MOTIVA Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf> 17.2.2014. Luettu 16.4.2014.
- 17 Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella - Diplomityö. Minna Paavola. TTY 2013 Verkkodokumentti.
<http://www.tampere.fi/material/attachments/v/6HSsw1Wei/Diplomityo_Paavola_painettuversio.pdf> 11.12.2013. Luettu 16.4.2014.
- 18 Aurinkosähkö Teknologia. 2013. MicrE Verkkodokumentti.
<<http://www.micre.eu/fi/energiantuotanto/aurinkosaehkoe/>> Luettu 10.2.2014.
- 19 Optimum Angle For Solar Panels. 2013. Verkkodokumentti.
<<http://www.mysolarpanels.com/optimum-angle-for-solar-panels/>> Luettu 16.4.2014.
- 20 Auringon kulkureitti 2013. Verkkodokumentti.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Auringon_kulkureitti> Wikipedia 19.12.2013. Luettu 10.2.2014.
- 21 Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. Verkkodokumentti. <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>> Luettu 10.2.2014.
- 22 SMA SOLAR/ACADEMYPlanning and Desing. . Verkkodokumentti.
<https://www.sma.de/fileadmin/Partner/Solaracademy/Downloads/EN/Planning%20and%20Design%20for%20small%20and%20medium%20PV-Plants_EN-123610_web.pdf> SMA Solar Technology AG. Luettu 10.2.2014.
- 23 How To Choose The Right PV Power Inverter. 2010. Solar Power World. Verkkodokumentti. <<http://www.solarpowerworldonline.com/2010/07/how-to-choose-the-right-pv-power-inverter/>> 13.10.2010. Luettu 17.4.2014.
- 24 Verkkoon sopivaa piensähköä 2011. Ina Lehto. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/files/4736/Verkkoon_sopivaa_piensahkoa_Ina_Lehto.pdf> Energiatieto 10.11.2011. Luettu 17.4.2014.
- 25 SUNNY MINI CENTRAL 9000TL / 10000TL / 11000TL . Verkkodokumentti.
<<http://files.sma.de/dl/17872/SMC9-11TLRP-IA-en-51.pdf>> SMA Solar Technology AG Luettu 17.4.2014.
- 26 How to Evaluate A Solar Combiner Box. 2013. Solar Power World. Verkkodokumentti. <<http://www.solarpowerworldonline.com/2013/03/how-to-evaluate-a-solar-combiner-box/>> 27.3.2013. Luettu 17.4.2014.
- 27 Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. 2009. ST-kortti. Sähkötieto ry, Sähköinfo Oy
- 28 Keskustelu sähkövoimatekniikan lehtorin Osmo Massisen kanssa 22.3.2014.

- 29 Liberta Solar -julkisivu - rakennukseen integroitavat aurinkopaneelit. Verkkodokumentti. < <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Facade-claddings/Liberta-Solar--julkisivu---rakennukseen-integroitavat-aurinkopaneelit> > Rautaruukki Oyj Luettu 10.2.2014.

- 30 Ingenious PV Glass Window Hits Chicago 2011. Jetson Green Verkkodokumentti. <<http://www.jetsongreen.com/2011/03/pythagoras-solar-photovoltaic-window-unit.html> > 23.9.2013. Luettu 16.4.2014.

- 31 Sizing Fuses for Photovoltaic System per the National Electrical Code 2012. Verkkodokumentti.
<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDAQFjAB&url=http%3A%2F%2Fd2uivewa9t17av.cloudfront.net%2FMersen-PVPN5-Sizing-Fuses-of-PV-Systems-per-NEC.pdf&ei=_009U4v8KMfJ4gTf6lGoBg&usg=AFQjCNFkOAnTJTc3KbVxgxAGRnPMibrjKg&sig2=ohtVh7vG6 > Mersen Group 6.12.2012. Luettu 17.4.2014.

- 32 Kesäsään tilastoja. Verkkodokumentti. < <http://ilmatieteenlaitos.fi/kesatilastot> > Ilmatieteenlaitos. Luettu 17.4.2014.

- 33 TEKNINEN LIITE 1 OHJEESEEN SÄHKÖNTUOTANTOLAITOKSEN LIITTÄMINEN JAKELUVERKKOON - NIMELLISTEHOLTAAN ENINTÄÄN 50 kVA LAITOKSEN LIITTÄMINEN. 2013. Verkkodokumentti.
<http://energia.fi/sites/default/files/tekninen_liite_1_-_enintaan_50_kva_paivitetty_20130228.pdf > Energiateollisuus 28.2.2013. Luettu 17.4.2014.

- 34 TEKNINEN LIITE 2 OHJEESEEN SÄHKÖNTUOTANTOLAITOKSEN LIITTÄMINEN JAKELUVERKKOON - NIMELLISTEHOLTAAN YLI 50 kVA LAITOKSEN LIITTÄMINEN. 2011. Verkkodokumentti.
<http://energia.fi/sites/default/files/tekninen_liite_2_-_yli_50_kva.pdf> Energiateollisuus. 16.12.2011. Luettu 17.4.2014

- 35 SÄHKÖNTUOTANTOLAITOKSEN LIITTÄMINEN JAKELUVERKKOON. 2011. Verkkodokumentti.
<http://energia.fi/sites/default/files/ohje_tuotannon_liittamisesta_asiakasviestintaan.pdf > Energiateollisuus.16.12.2011. Luettu 17.4.2014.

- 36 Suomen suurin aurinkovoimala on valmis!. 2013. Verkkodokumentti.
<<http://era17.fi/suomen-suurin-aurinkovoimala-on-valmis/>> ERA17. 20.20.2013. Luettu 17.4.2014.